

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA

Institut environmentálního inženýrství

**ZÍSKÁVÁNÍ Ag - KONCENTRÁTU Z ODPADNÍCH
MATERIÁLŮ POMOCÍ FLOTACE**

Obtaining Ag - concentrate from waste materials by flotation

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Jan Kubečka

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jaroslav Závada, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Kubečka**

Studijní program: N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 3904T022 Zpracování a zneškodňování odpadů

Téma: **Získávání Ag-koncentrátu z odpadních materiálů pomocí flotace**
Obtaining Ag-concentrate from waste materials by flotation

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Možnosti a metody získávání Ag z odpadních materiálů
- 3) Flotační testy
- 4) Vyhodnocení flotačních testů
- 5) Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

ZÁVADA, J., BOUCHAL, B.: Chemické metody zpracování nerostných surovin a odpadů. ES VŠB-TU Ostrava, 2010

KMEŤ, S.: Flotácia. Alfa Bratislava, 1983

KŘÍŠTOFOVÁ, Dana. Recyklace ušlechtilých kovů. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2001. 100 s. ISBN 80-7078-939-5

WILLS, B., A. a T., J. NAPIER-MUNN: Mineral Processing Technology. Oxford: Elsevier, 2006. 7. ISBN 978-0-7506-4450-1.

Nguyen, A., V., Schulze, H., J: Colloidal science of flotation. Marcel Dekker, Inc., New York, 2004, ISBN 0-8247-4782-8.


Odborné články z databázi SCOPUS, Web of Science a ScienceDirect

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslav Závada, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016


doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová
vedoucí institutu

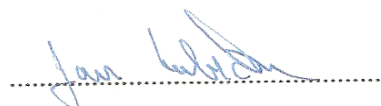



prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
děkan fakulty

PROHLÁŠENÍ

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 - školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo na nevýdělečně, ke své vlastní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny na informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnutí licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 29.4.2016



Bc. Jan Kubečka

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jaroslavu Závadovi, PhD., za odborné vedení, cenné rady a připomínky, metodickou pomoc, otevřený a motivující přístup, asistenci a rady u laboratorního výzkumu. Dále bych rád poděkoval celé své rodině, za pevné nervy a podporu po celou dobu mého studia.

Anotace

Diplomová práce se v teoretické části zabývá charakteristikou lokality, popisem získané kovonosné strusky z kutnohorské haldy a následně získávaného a zpracovávaného materiálu. Experimentální část práce se zabývá flotací strusky z dané lokality za účelem nabohacení stříbra do flotačního koncentrátu. Závěr práce obsahuje vyhodnocení tohoto experimentu a následné srovnání předchozích diplomových prací, které se tímto tématem zabývaly.

Klíčová slova: flotace, struska, stříbro, Oktadecylamin

Summary

The theoretical part of the thesis deals with the characterization of the locality, the description of the metal - bearing slag gained from the Kutná Hora heap and subsequently extracted and processed material. The experimental part of the thesis discusses the slag flotation from the mentioned locality in order to enrich the flotated concentrate with silver. In conclusion the thesis contains the evaluation of this experiment and afterwards the comparison of previous theses, which were concerned with this theme.

Keywords: flotation, slag, silver, Octadecylamine

Obsah

1 Úvod	1
1.1 Cíl práce	2
2 Teoretická část	3
2.1 Historie získávání neželezných kovů	3
3 Popis odpadů z metalurgického průmyslu neželezných kovů	5
4 Ušlechtilé kovy.....	7
4.1 Stříbro (Ag).....	8
5 Geomorfologické poměry	11
6 Historie těžby a zpracování Ag z odpadních surovin na Kutnohorsku	12
6.1 Struskové odvaly v Markovičkách	12
6.2 Technologie pro získávání a zpracování stříbra	13
6.2.1 Metalurgické zpracování sulfidických stříbrných rud	13
6.2.2 Charakter vstupní suroviny	14
7 Komplexní zpracování sulfidických rud v závěrečné fázi technologického procesu	15
7.1 Vytavování kamínku.....	15
7.2 Pražení	15
7.3 Redukční tavení	16
7.4 Postupy při oddělování stříbra	17
7.5 Odpady a jejich zpracování.....	19
7.5.1 Recyklační technologie	19
8 Princip flotace	21
8.1 Flotační reagenty	23
8.2 Sběrače.....	24
8.2.1 Anionaktivní sběrače - Xantogeny.....	25

8.2.2 Kationaktivní sběrače - Aminy, Oktadecylamin.....	26
8.2.3 Montanol 800	29
9 Využití flotace při získávání Ag.....	30
10 Experimentální část	34
10.1 Příprava vzorku.....	35
10.2 Analýza vzorku	36
10.2.1 Metoda ICP-MS	36
10.3 Metodika flotačních testů.....	37
10.4 Flotační testy.....	39
10.4.1 Flotace 1	40
10.4.2 Flotace 2	42
10.4.3 Flotace 3	45
10.4.4 Flotace 4	48
10.4.5 Flotace 5	51
10.4.6 Vyhodnocení flotací.....	54
10.4.7 Srovnání výsledků.....	56
11 Závěr	60
Seznam použité literatury	61
Seznam použitých zkratk	67
Seznam obrázků	68
Seznam tabulek	70

1 Úvod

Současná situace v České republice je taková, že se kromě uranových ložisek na našem území netěží žádné rudy. Většina zásob kovů již byla bohužel vytěžena. Stříbro se v České republice postupně přestávalo těžit, až došlo k jeho následnému útlumu a jeho těžba už spadá do minulosti. Jelikož je tato těžba z ekonomického hlediska neefektivní, není důvod s touto těžbou nějak uvažovat. Železné, neželezné a ušlechtilé kovy jsou do České republiky dováženy ze zahraničí, nebo následným zpracováním druhotných surovin. Problematika zpětného získávání kovů z odpadů, například metalurgických či elektrotechnických, požaduje komplexní přístup a následné použití více úpravnických metod a postupů k dosažení nejlepších výsledků. [1] [2]

Stříbro, jako samotné je do Evropské unie dováženo ze států, které jsou mimo tuto unii. Je také odkázána na recyklaci stříbrnosných druhotných surovin i když se v Evropské unii těží. Velkým zdrojem stříbra v Evropské unii jsou komunální odpady, ze kterých se získává téměř přes 60 % a zbytek stříbra končí na skládkách. [1] [3]

Co se týká neželezných kovů, tak ty jsou ve světě prozatím postačující, ale podle prokázaných analýz se tohle týká pouze posledních 20. let. Jedním ze zdrojů by mohla být dna moří a oceánů, ovšem toto je prozatím nemožné z ekonomického hlediska.

Recyklace odpadních surovin, obsahující kovy, je v popředí zájmu vyspělých ekonomik světa. Získání dostatečného množství suroviny za přiměřenou cenu je v současnosti velkým problémem. Je nutné se tedy zaměřit na vylepšení technologií, které by mohly snížit produkci odpadů a také se zaměřit na legislativu a ekonomiku. [2]

1.1 Cíl práce

V rámci experimentální části této práce budou provedeny flotační testy odpadní strusky z oblasti Kutné Hory, konkrétně lokality Markovičky, za účelem nabohacení v ní obsaženého stříbra do flotačního koncentrátu.

2 Teoretická část

Teoretická část práce se zabývá teoretickými poznatky, a to v získávání neželezných kovů, které budou v práci stručně pospány, ale zejména na získávání stříbra z odpadních materiálu. Tato část práce je také zaměřena na popis Ag, tedy stříbra, na to jak se těžilo na území Kutné Hory v minulosti zpracováním stříbrné rudy. Také v práci bude zabíráno popisem metody flotace.

2.1 Historie získávání neželezných kovů

Kapitola bude věnována stručnému popisu kovů, které patří do skupiny neželezných, dále chemickofyzikálním vlastnostem a jeho způsobem ho získat.

Počátek hutnictví není přesně znám. Nejstarším doloženým procesem získávání kovů je těžba malachitu starověkými Egypťany přibližně před 6000 lety. Tento objevený kov upravovali ve vysokých šachtových pecích pomocí dmýchací strusky a dřevěného uhlí. Pece měřily jeden metr. Asi před 5000 lety se začaly připravovat první cínové bronz, které vznikaly tavením oxidických měděných rud s oxidickými rudami cínu a zinku a přibližně před 4000 léty vznikaly totožným způsobem mosazné výrobky. Postupem času se začaly získávat i další kovy jako je zlato (Au), olovo (Pb), měď (Cu) a stříbro (Ag). Rafinace Au jeho oddělováním, především od Ag, probíhala z pyrometalurgických postupů, byla známa v Egyptě již 2000 let před Kristem. [4]

Přísně střežené receptury a technologické postupy získávání kovů a následné rafinace, byly většinou založeny na empirické zkušenosti, která byla předána z generace na generaci. Kvůli tomu, že byly díky technologických postupech dosaženo nízkých teplot (cca 1100 °C), se získávaly kovy s nízkou teplotou tání a zpracovány snadno redukovatelné sloučeniny jako jsou stříbro, zlato, měď, olovo, železo a antimon. Procesní inženýrství, které bylo založeno zhruba 70 let zpátky, zasáhlo metalurgickou oblast, a to významně. V minulém století dalo hutnictví díky vědě vzniknout metalurgickému inženýrství, které se postupem času vyprofilovalo na materiálové inženýrství. Dodnes je možné se potkat s dělením hutnictví Fe a neželezných kovů. [5]

Výroba oceli a surového železa je založena zejména na pyrometalurgických procesech, jako je například tavení, pražení atd. Ale opatření neželezných kovů je spojeno

se širším okruhem postupů z výroby, a to díky široké škále surovin, ve kterých se neželezné kovy vyskytují. [5]

V porovnání postupů výroby železa a oceli, ale také výroby neželezných kovů je nutné pochopit, že suroviny, ze kterých se vyrábí železo, jsou na rozdíl od surovin na výrobu neželezných kovů monometalické, tedy usnadňují jejich úpravu. Tyto neželezné kovy se vyskytují v rudě ve stejných fyzikálně-chemických vlastnostech.

Hydrometalurgické postupy se používají při zpracování neželezných kovů a používají se při chemickém a bakteriálním loužení. V průběhu metalurgických procesů tavení se získávají jednak kovové sloučeniny a nebo, když to určitá technologie dovolí, tak můžeme získat kovy čisté.

Celá řada kovů může být zastoupena v zemské kůře, i když se vyskytují v malém rozsahu. Ale i tak může být získáváno efektivně. Tohle je hlavně díky tomu, že se vyskytují ve formě minerálů, což zlehčuje jejich získávání ze vstupní suroviny. Je také možné snadno dosáhnout vysokopecních koncentrátů popřípadě i čistých kovů, za pomoci moderních úpravnických metod. [5]

3 Popis odpadů z metalurgického průmyslu neželezných kovů

Kovy, které byly objeveny pro lidskou společnost jsou nepostradatelné a pro hutnictví až po hornictví, se staly nejhlavnějším procesem výroby. Ten umožnil, že se mohly vyrábět kovové předměty. Výroba ušlechtilých kovů, což jsou stříbro, zlato, cín, olovo, rtuť a měď, jsou známy od středověku. Ložiska stříbra se v českých zemích otvírala ve 13. až 16. století. Z nejvýznamnějších lokalit zde bylo Stříbro a Kutná Hora. V 19. a 20. století mělo hutnictví největší rozmach, a to díky zbrojení ve dvou světových válkách. Díky tomuto vznikaly velké množství metalurgických odpadů, a to za výroby neželezných kovů, ocele, surového železa a dalších výrobků, jako jsou například plechy, pásy, odlitky, dráty a další. Většina odpadů má v hutnictví sekundární charakter a dá se opětovně využít. [1]

Během výroby kovů vznikají metalurgické odpady, které se můžou vyskytovat v pevném, plynném a kapalném stavu. Díky vysoké toxicitě nebo koncentrace škodlivých látek má negativní vliv na životní prostředí. Můžou také poškozovat a mít negativní vliv na lidské zdraví. [6] [7] Během zpracování neželezných kovů pomocí pyrometalurgie, vznikají kovonosné strusky, které jsou slitinami nekovových a kovových prvků, které společně tvoří sloučeniny. Tyto vyprodukované strusky především obsahují malé množství plynů, kovů, sulfidů, oxidů a jiných látek, jedná se o vícesložkový systém. V tavicí peci má struska nejmenší hustotu a plave zcela na povrchu. K významným ztrátám stříbra také docházelo ve struskách. Když se stříbro nacházelo ve strusce výnosné, tak se následně recyklovalo v dalších tavných. Struska má po ztuhnutí většinou sklovitý vzhled a řadí se do hlavních hutnických odpadů. Podle charakteru můžeme strusku rozdělit na zásaditou, kyselou a neutrální. [8]

Strusky, které jsou kovo-hutnické, můžou být využívány v mnoha průmyslových odvětvích. Jedná se o ocelářské strusky, které mohou být využity jako zásypový materiál nebo mohou být součástí směsi betonu namísto portlandského cementu. [9]

Z pyrometalurgického zpracování neželezných kovů, jsou strusky díky úpravnických metod zpracování, které vznikly nedokonalým způsobem, zdrojem některých kovů jako je například Fe, Cr, Cu, Al, Pb, Zn, Ni, Nb, Ta a další. Je také nutné surovinu mechanicky upravit, což je podrtit, pomlít nebo případně upravit nebo roztřídit na danou zrnitost. Pro zvýšení kovnatosti jsou dále využívány další úpravnické metody. Jedná se

mletí, drcení, pražení, třídění, magnetické rozdrůžování nebo biochemické loužení, flotace atd., případně může nastat kombinace výše uvedených metod. [7]

Pro výběr vhodné technologické úpravy, musí být dána kovnatost suroviny s obsahem doprovodných prvků, separovaného prvku s chemickými vazbami a složením doprovodného materiálu. Proto se musí odhadnout způsoby komplexního využití veškerých složek odpadu. [10]

4 Ušlechtilé kovy

Do této skupiny ušlechtilých kovů řadíme zlato, stříbro, paladium, platinu a další vzácné kovy. Tyto kovy se uplatňují pořád ve větší míře v praxi, a to v technice, kde se zejména využívá jejich odolnost kvůli efektům různých prostředí zajišťující stálost povrchu. Zejména se jedná o Au, využíváno v elektrotechnice, přípravě slitin pro stomatologii, mikroelektronice. V elektrotechnice je především využívána skvělá elektrická vodivost Ag, ve fotografickém odvětví se stříbro užívá pro vytváření fotosenzitivních vrstev. V různých prostředích je stabilita signifikantní vlastností kovů z platiny a je využívána pro termočláňkové materiály, vytváření odporových materiálu apod. [11]

V současnosti se v České republice vyrábí ušlechtilé kovy, a to pouze zpracováním druhotných surovin. Roční světová spotřeba stříbra se pohybuje kolem 22 kt. Z tohoto množství představuje největší nárůst spotřeba stříbra ve fotografickém průmyslu. Ze 37 % se stříbro využívá v průmyslu, 29 % ve fotografickém průmyslu, 28 % výroba šperků a 6 % výroba mincí. Spotřeba zlata je soustředěna z 85 % do výroby šperků, 10 % průmyslové využití, 3 % výrobu mincí a 2 % stomatologie. [1]

Doly ve všech částech světa odesílají velká množství ušlechtilých kovů v podobě surové rudy nebo ve formě vedlejších produktů do rafinerií Evropské unie (EU). Co se týče rafinační a výrobní kapacity pro ušlechtilé kovy na světě, tak ta má EU, i když jejich současné minerální zdroje jsou velmi omezené. Recyklace ušlechtilých kovů z kovonosných odpadů byla v EU vždy důležitým zdrojem suroviny. Rafinerie ušlechtilých kovů, které mají významnou kapacitu se nacházejí v Belgii, Německu, Švédsku, Finsku a Velké Británii. Ty obvykle rekuperují ušlechtilé kovy z rud olova, zinku, mědi nebo niklu a stejně jako z nízko-jakostních kovonosných odpadních materiálů všeho druhu a dodávají čisté kovy v tyčích nebo deskách, znech nebo jako houbu. V Evropě existují malá ložiska rud ušlechtilých kovů, což činí okolo 4,5 % světového primárního stříbra, 1,1 % světového primárního zlata a 0,08 % primárních platinových kovů na světě. V Evropě je mnoho společností, které se specializují na sběr, přepracování a obchod s kovonosným odpadem. Běžnými položkami jsou vyřazené tištěné spoje, zastaralé počítače, staré fotografické filmy, rentgenové desky a roztoky, vyčerpané elektro-pokovací látně atd. Co se týče rafinace zlata a stříbra a skupiny platinových kovů se v EU provádí ve společnostech

specializujících se na rafinaci a zpracování ušlechtilých kovů nebo v rafinériích základních kovů. Celková kapacita společností zabývajících se v EU rafinací ušlechtilých kovů je největší na světě. Obchod s klenoty má nejvyšší spotřebu zlata a obchodování s fotografickým materiálem zase stříbra. U platiny je nejvyšší spotřeba platiny při výrobě katalyzátorů do automobilů. Jako další využití jsou chemikálie, dentální zboží a investice, jako jsou například ražení mincí. [3]

4.1 Stříbro (Ag)

Stříbro (Obrázek 1) se svou chemickou značkou Ag je nejrozšířenějším ušlechtilým kovem, který se nepoužívá nejen při výrobě šperků a mincí, ale také je nepostradatelné v dnešní době v technických odvětvích, například v elektrotechnickém a chemickém průmyslu. Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, tak stříbro má velký význam při výrobě fotografického materiálu, i když v dnešní době pořízené klasické fotografie na významu pomalu ztrácí. Stříbro je také využíváno v lékařství a v technice samotné. [12]



Obrázek 1 - Stříbro [12]

Díky tomu, že se stříbro v přírodě vyskytuje v hojnějším počtu oproti jiným drahým kovům, je jeho cena nižší. Většinou se vyskytuje s jinými kovy, jako jsou Bi, Au, Hg, Cu, As a Sb. Přírodní „slitina“ stříbra a zlata nazýváme kustelit, který je do 10 % zlata, a elektrum, které je nad 10 % příměsí zlata. Asi dvě třetiny světových stříbrných zásob se vyskytuje v polymetalických rudách a měděných ložiscích. Stříbro se vyskytuje i

v minerálech jako jsou argentit, kerargyrit, galenit, proustit, polybazit, pyrargyrit, stromyerit nebo tetraedrit a také v dalších. [11]

Stříbro je bílý, kovově lesklý na povrchu hnědý až černý, což je způsobeno v atmosféře přítomným sirovodíkem H_2S . Stříbro jako takové, reaguje se sulfanem velmi intenzivně za vzniku sulfidu stříbrného Ag_2S . Stříbro je kujné a tažné, zároveň je nejlepším vodičem elektrického proudu a tepla. Tvárné stříbro je možno vyklepávat i do několika km dlouhých a několik mm širokou plíšků a drátků. Stříbro je také antibakteriální, což je další jeho zajímavou vlastností. Ryzost se u stříbra udává v tisícinách obsahu kovu, kdy nejobvyklejší slitina je tzv. sterlingové stříbro, které obsahuje 92,5 % Ag (ryzost 925/1000). [12]

Sekundárními zdroji Ag jsou druhotné suroviny, například zpracování stříbrných rud, odpadní materiál z výroby stříbra, fotografický materiál a další. Krystalizuje v soustavě kubické s plošně centrovanou kubickou mřížkou jako jemné žilkování v dutinách hornin. Někdy se objevuje ve formě pokroucených drátků, kompaktních kusů, vzácně ve formě plíšků nebo celistvých agregátů. Síť jemných nitek, které jsou krystalické, někdy připomínají pramen vlasů, trs trávy, větvičku stromu nebo mech. Z tohoto důvodu se tyto tvary nazývají dendrity. Drátky se nazývají „whiskers”. [13]

Jak již bylo výše zmíněno, jedním ze sekundárních zdrojů stříbra vzniklé po metalurgické činnosti zpracování jsou stříbrné rudy. V ČR je spousta lokalit, kde se zmíněná ruda zpracovávala a dobývala, jako Kutná Hora, Stříbro a Krušné Hory. I když se u nás žádná jiná ruda, kromě rudy uranové, nedobývá, tak i přesto existuje hodně odpadů, které vznikly hutnickou a hornickou činností v podobě odvalů. Nejvýznamnější oblast těžby a následného zpracování stříbra byly v ČR Kutné Hory. [11]

Základní vlastnosti stříbra jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1 - Základní vlastnosti stříbra (Ag) [14]

Chemická značka	Ag (Argentum)
Počet neutronů	61
Atomové číslo	47
Elektronegativita (Pauling)	1,93
Relativní atomová hmotnost	107,8682 amu
Hustota	10,490 g·cm ⁻³
Skupenství	Pevné
Tvrdost	2,5 Mohsova stupnice tvrdosti
Teplota varu	2162-2212°C

5 Geomorfologické poměry

Kutná Hora se rozkládá na ploše 36 km² je v oblasti 10 - 14 stříbrných žilných pásem, ale jen sedm bylo hornicky významných. Revír je tvořen metamorfovanými a silně zvrásněnými horninami kutnohorského krystalinika. Krystalinikum se dělí do 3 skupin:

- spodní štenbersko-čáslavská,
- střední kutnohorská,
- svrchní malínská.

Spodní štenbersko-čáslavská skupina je tvořena dvojslídnu a svorovou rulu, migmaty s vložkami amfibolitů, mramorů, eklogitů, skarnů a erlánů.

Střední kutnohorská skupina obsahuje ruly, svory, migmaty a ortoruly a poslední svrchní malínská ruly, spodní migmatizované ruly a centrální migmatity.

Na okrajích drobných hrástí - pásma turkaňského, rejzského a staročeského byla soustředěna největší mineralizace. V dalších případech jsou zde přítomny zóny širších drobných trhlin s rozptýlenou mineralizací - pásmo alžbětino, nifelksé, aj.

Kutnohorské rudní žíly jsou typické polymetalickou mineralizací a kyzovými ložisky polymetalických rud s křemenokarbonátovou výplní žil. Hydrotermální zrudnění je stáří karbonského a je následně navázáno na severní část centrálního moldanubického plutonu. [15] [16] [17] [18] [19]

Z přírodního hlediska jsou dnes haldy strusky částečně rozvezené a částečně zarostlé. Hmota, která je sklovitá, má sice vysoký obsah kovů, ale mimořádně pomalu přirozeně větrá a špatně se rozkládá. Tyto neúrodné strusky jako první osidlují lišejníky a mechy. Občas se také uchytí semínko břízy bělokoré *Betula Pendula*, dubu letního *Quercus robur* nebo jiné pionýrské dřeviny. Z opadaného listí se vytvoří tenká a snadno vysychající vrstva substrátu, ve kterém roste například mateřídouška obecná *Thymus serpyllum*, vřes obecná *Calluna Vulgaris* nebo třeba rostliny z čeledi silenkovitých *Silenaceae*. Typickou rostlinou pro suchá stanoviště jsou rozchodníky *Sedum sp.* Mezi těmito a dalšími rostlinami žije také mnoho druhů živočichů. Z nejnápadnějších můžeme jmenovat ještěrku obecnou *Lacerta agilis*. [17]

6 Historie těžby a zpracování Ag z odpadních surovin na Kutnohorsku

Od 10. století se v Kutné Hoře datuje historie dolování stříbra. Samotný těžební rozvoj stříbra se začal na konci 13. století, kdy zrychlil výrazně proces zakládání nových zdrojů. Mezi léty 1290 až 1350 se zde těžilo cca 55 kg čistého stříbra denně. Roku 1300 se na základě horního práva *Ius regale montanorum* započala ražba Pražských zdrojů, které vážily 4,2 g. Díky tomu se stříbro stalo měnovou základnou a hospodářského života a dostalo se Kutné Hoře výsadního postavení českým panovníkům. Roku 1318 byla osada povýšena na město.

Na konci 14. století dostala Kutná Hora politického významu, a to bylo z důvodu zastoupení německého patriciátu a koncentrace cizích báňských podnikatelů. Za husitských válek nastal těžební útlum stříbra a následně k uzavření mincovny a spoustu dolů bylo zavaleno. Těžbu stříbra pozvedla až vláda Jagellonců a na českém trůně, tedy v letech 1471 až 1526. Opět se Kutná Hora stala dějištěm hospodářského a politického života, ale už zde nebyl takový význam jako před husitskými válkami.

Ovšem v polovině 16. století došlo k dalšímu útlumu, neboť se stříbro nacházelo čím dál tím více pod povrchem. Díky tomu se v tomto období začalo dovážet z Ameriky stříbro, které žel snižovalo cenu na trhu. Během třicetileté války došlo k ekonomickému a politickému úpadku. Kvůli třicetileté válce ztratila Kutná Hora statut hornického město a tudíž se stala obyčejným městečkem. Od těchto dob byly prováděny opětovné pokusy o obnovu těžby. Poslední obnova byla provedena v letech 1904 až 1905. Od 2. světové války do roku 1991 byla těžba měděných, zinkových a olověných rud. V roce 1992 byla těžba ukončena. V Kutné Hoře se během 400 let dolování vytěžilo asi 100 000 tun mědi a asi 2000 tun stříbra. [15] [16] [17] [18] [19]

Strusky, které se zde nacházely, vznikaly v okolních pěti hutích jako odpad při tavbě rudy v průběhu několika staletí. K vycezození stříbra se používaly železnaté kyzy a olovo, v okolí hutí stály taky mimo jiné i ságrozny mědi. [18] [27]

6.1 Struskové odvaly v Markovičkách

U osady Markovičky v údolí Bylanky se rozkládají dochované pozůstatky po hutnění kutnohorských stříbrných rud. Podle rozsahu struskových odvalů zde pracovalo

5 hutí. Mimo nich zde stály od 15. století i ságrovný mědi. Zde v těchto ságrovných pracovníci zpracovávali černou měď s obsahem 1-2 % stříbra. Měď byla doprovodným produktem kutnohorského hutnění, ale její výroba patrně nikdy nepřesáhla lokální význam, jelikož tržby za ni se pohybovaly v rozmezí 1 až 12 % celkových hrubých tržeb.

Hutnický provoz zde vyžadoval použití železnatých kyzů a olova, které sloužilo k vycezdování stříbra z vypražených rud (tzv. kamínku). Železnato-křemičitá struska obsahuje vzhledem k úrovni dosažených středověkých technologických postupů řadu ekonomicky zajímavých kovů, jejichž extrakce je i dnes poněkud problematická, jedná se především o stříbro, olovo, zinek, cín, železo, a další. Kovy jsou ve struskách převážně ve formě silikátů, případně oxidů. Hlavní minerální složky strusek jsou silikátová základní hmota, kastrovitý hematit a rekrystalizovaný křemen. Kromě jichž zmíněných byly zjištěny relikty sfaleritu a pyrhotinu a ojediněle vyhutněná kovová měď. Působením atmosférických vlivů dochází k větrání strusek, při kterém se z nich vyluhují některé kovy. Díky tomu se na struskových haldách vytvářejí nápadné modrozelené povlaky druhotných minerálů mědi, ale také rezavé limonity a drobné jehličky sádrovce.

Velkým problémem při hutnění rud byly značné ztráty ve výtěžnosti stříbra, které se pohybovaly okolo 25 až 30 %. Postupným zdokonalováním metod se ztráty snižovaly a později se vyplácelo dokonce přetěžování a přetavování některých starých struskových hald. [17] [20]

6.2 Technologie pro získávání a zpracování stříbra

Pro technologii získávání stříbra existuje spousta metod, které se od sebe svým způsobem nějak liší. Můžeme je rozdělit dle metalurgického zpracování sulfidických stříbrných rud a podle charakteru vstupní suroviny.

6.2.1 Metalurgické zpracování sulfidických stříbrných rud

Podle metalurgického zpracování sulfidických stříbrných rud se řídí několika kroky:

- třídění rudy a další úpravy na vstupní sulfidický koncentrát,
- oxidace sulfidu pražením,
- redukce na kovové stříbro,

- oddělení a přečištění stříbra.

6.2.2 Charakter vstupní suroviny

Sulfidické stříbrné rudy se dále dají rozdělit podle charakteru vstupní suroviny a to na:

- komplexní sulfidická ruda,
- galenitové rudy,
- ušlechtilé stříbrné rudy. [19]

a) Komplexní sulfidická ruda

Skupina komplexních sulfidických rud se všeobecně nazývá směs obecných sulfidů. Jedná se zejména o galenit, sfalerit, chalkopyrit, pyrit, arsenopyrit, pyrhotin. Samotné Ag se váže na galenit, sfalerit a chalkopyrit, a to v podobě mikroskopických inkluzí. Stříbro se udává v řádech desetin procent. Ostatní sulfidy jsou chudší, a tudíž hůře zpracovatelné. Hutnické zpracování komplexní sulfidické rudy bylo nejnáročnější, neboť se vyžadovalo velké množství kroků. Jednalo se o opakované tavení kamínku, vyvázání železa do strusky, vypražení kamínku, zolovnění koncentráту, atd. Těžba a zpracování komplexních sulfidických rud probíhala především v Kutné hoře. [19] [21]

b) Galenitové rudy

Galenit obsahoval stříbro přímo ve své struktuře nebo jako mikroskopické inkluze minerálu stříbra. V takových rudách se obsah stříbra pohyboval v desetinách procent. V rámci úpravy byl galenit podroben pražení, tavení a následné redukci na olovo.

c) Ušlechtilé stříbrné rudy

Do této skupiny patří ryzí stříbro, jako je argentit, proustit, pyrargyrit, stefanit, tetraedrit a další. V Jáchymově se vyskytovaly hlavní ložiska těchto zmínovaných rud. Jejich zpracování bylo poměrně jednoduché. Rudu bylo možno přímo zolovňovat. [19] [21] [22]

7 Komplexní zpracování sulfidických rud v závěrečné fázi technologického procesu

Kapitola bude věnována závěrečnému procesu při komplexních zpracování sulfidických rud v závěrečné fázi technologického procesu. Jedná se o vytavování kamínku, pražení, redukční tavení.

7.1 Vytavování kamínku

Metoda vytavování kamínku se nejvíce používá pro úpravu chudých rud. Za přítomnosti pyritu a struskotvorných přísad během redukčního tavení rud vzniká kamínek, který vznikl z taveniny sulfidů kovů, které obsahují i nějaké množství vyredukovaných kovů. Nejhojnější zastoupení v tomto kamínku bylo Cu_2S , potom FeS , PbS a v malém zastoupení taky Ag_2S a další. Kamínky byly tmavé barvy, měly matný kovový lesk a vysokou hustotu. Technologie výroby byla zaměřena na co největší výtěžnosti mědi, a proto bylo zapotřebí vyseparovat železo. K tomu sloužilo oxidační pražení, při kterém byla odstraněna část síry. Následné tavení směsi za přítomnosti SiO_2 přecházelo železo na železo-silikátové strusky. Hmotnost Cu_2S v kamínku narůstal. Před samotnou redukcí se v posledním kroku na měď z kovu používalo úplné vypražení kamínku na CuO . Jeden z možných mechanismů tvorby železo-silikátové strusky popisuje rovnice:



Metoda předpokládá předběžnou oxidaci části Cu_2S na CuO oxidačním pražením. Výsledným produktem zde byla surovina, která byla zbavena nežádoucích příměsí (Fe, Zn, silikáty a zbytky hornin). Většina stříbra při tavení přecházela ve formě sulfidu do vznikajícího kamínku. Několik dnů probíhalo tavení a poté se opakoval proces do doby, než došlo k dostatečnému obohacení kamínku Ag.

7.2 Pražení

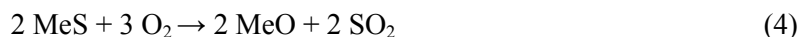
Z důvodu přímé redukce sulfidů uhlíkem na ryzí kovy nemělo ideální proces, bylo nutné, aby se sulfidy převedly na oxidy, a to postupem, který se nazývá pražení oxidační. Předěšly produkt, byl po podrcení pražen v otevřených pecích v proudu vzduchu a za občasného prohrabávání nebo jenom na zapálených hromadách ve volné přírodě. Praženec

pak byl opět znova podrcen a pražen. Tento celý proces se opakoval až do té doby, než byla eliminace síry. Sulfidy byly oxidovány na kovy a SO_2 . Kovy se navázaly na kyslík za vzniku oxidů. Následující rovnice popisuje sulfatační a oxidační pražení, které probíhají v rámci různých chemicko-fyzikálních podmínek současně:



7.3 Redukční tavení

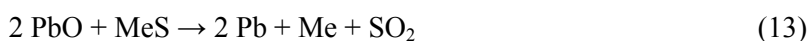
Po předešlém kroku, kdy sulfidy byly převedeny na oxidy, následovala metoda redukčního tavení kovů obsažených v surovině. Jako redukční činidlo se využíval uhlík nebo olovo. Proces popisují následující rovnice:



Během redukčního procesu probíhaly i reakce mezi oxidy a sulfidy, která popisuje rovnice:



Z historie je jasné, že při zpracování komplexních rud nebyly zmiňované postupy využívány principiálně čistě, ale byly především využity rozličné mezistupně tavebního procesu, a to nejčastěji v jedné tavenině. Při tavbách probíhaly následující procesy:



Redukční tavení byl komplexní proces, kde při něm docházelo k redukci kovu, a také k odstranění nežádoucích příměsí, které přecházely do strusky. Tavení probíhalo v předehřáté peci, která byla šachtová. Vsázka obsahovala pražený kamínek, pražené rudy a uhlí. Pražený kamínek, který vznikl jako vedlejší produkt při shánění rudního olova, byl znova využíván. Klejt působil jako oxidační činidlo, v němž se koncentrovalo stříbro nebo jiné drahé kovy. Vsázka také obsahovala křemen jako struskotvornou přísadu pro eliminaci železa. Po nějaké době byla výpust u dna pece otevřena a tavenina vytekla do kelímku. Po vychladnutí vytvořila několik nemísitelných vrstev. Na dně bylo vytavené rudní olovo. Většina stříbra, která se nacházela v tavenině, přešla do olova. Během redukčního tavení unikla ve zplodinách část zbylého arsenu, antimon, část olova a většina zinku. V peci se vypařoval redukovaný zinek. V rámci technologického procesu probíhalo množství dalších taveb, které měla za úkol převádět co největší množství zbylého stříbra z měděného kamínku do olova. Konečné produkty byly hutní olovo, které bylo obohacené stříbrem, černá měď obohacená stříbrem a měděný kamínek s určitým obsahem stříbra. Množství stříbra v jednotlivých přísadách a meziproduktech byly sledovány a lze říci, že i přes náročnost celého postupu byl proces účinný. Kamínek díky olova byl zbaven stříbra a pomocí strusky železa byl několikrát pražen a nakonec redukčně taven na černou měď. Obsah stříbra se pohyboval v řádu desetin procenta až procento. Černou měď bylo možné dále rafinovat na čistou měď, a to z důvodu, že tato měď obsahovala ekonomicky významné množství stříbra, která byla zpracována takzvaným ságrováním. [19] [3] [22] [23]

7.4 Postupy při oddělování stříbra

Během tavícího procesu, je hlavním cílem zkoncentrovat stříbro, které je obsažené v rudě. Dostatek množství stříbra zůstalo i v dalších produktech tavby například ve strusce nebo v tzv. černé mědi, která se musela upravovat ságrováním.

Pojem ságrování znamená vycezození. Jedná se o postup, kde bylo ze slitiny černé mědi pomocí olova oddělováno zbylé stříbro. Nejprve byla černá měď tavena olovem, a to v poměru 1:3. Vzniklá tavenina několika prvků byla následně zchlazována. V tuhé fázi je olovo v mědi téměř nerozpustné. Výsledná slitina se skládala ze dvou oddělených fází. Vznikly dendritické krystaly mědi obklopeny olovem. Je zřejmé, že veškeré stříbro během tohoto postupu přešlo do olova. V praxi je nutno, aby se ságrování několikrát opakovalo a vedlejší produkt a odpady se recyklovaly. Proces ságrování byl zaveden okolo 15. století

v německém Norimberku a následně se rozšířil do Čech. Uvedený postup byl ze začátku utajován, ale postupem času se začal šířit do celé Evropy. Do té doby byly na stříbro chudé měděné rudy zpracovány na měď s vysokým obsahem stříbra, jelikož se stříbro tehdejšími technologiemi nedalo oddělit. Oddělování stříbra od mědi ságrováním bylo ukončeno až zavedením elektrolytických metod.

Dalším pojem je kupelace. Kupelací rozumíme shánění, odhánění, pálení slitiny. Jednoduše řečeno se jedná o oddělení stříbra od rudního olova. Do roztavené pece, které má v sobě olovo, přešla většina stříbra a byl zde vháněn vzduch. Olovo se na povrchu okamžitě oxiduje na oxid olovnatý, neboli takzvaný klejt. Klejt je při teplotě pece v kapalném stavu. Z povrchu lázně je postupně upouštěn, zatímco stříbro se za těchto podmínek neoxiduje a postupně se v Pb-Ag lázni koncentruje. Tento proces (kupelace) se provádí tak dlouho, dokud se na dně pece nezaleskne zrcadlově čistá hladina stříbrné taveniny. Takto vyrobené stříbro, které se nazývá hertovní stříbro, obsahuje 90 % kovu, zbytek byly znečišťující příměsi. Hertovní stříbro je stříbro, které je surové a obsahuje 66 až 90% stříbra, zbytek připadá na příměsi, zejména měď ale i další kovy.

Nečistoty ze stříbra byly odstraňovány pomocí přepalování. Výsledné vyrobené stříbro, neboli přepalované stříbro, obsahuje 98 až 99 % stříbra.

Důležitým pojmem je rafinace stříbra. Přepalování stříbra je rafinace hertovního stříbra jemným sháněním ve speciální kupelační nádobě nazvané test - nepolěvaná keramická mísa s nístějí vytvarovanou z popele. Jedná se o podobný proces jako je kupelace. Rozdíl je v tom, že za podmínek je energičtější oxidace, kdy docházelo i k oxidaci kovových příměsí jako měď a tak dále.

Další pojem je zolovňování, jež bylo nejvíce využíváno především u bohatých až velmi bohatých stříbrných rud. Principem zde byla oxidace sulfidů, případně i jiných sloučenin stříbra klejtem na hladině olova. Rudy byly přiváděny do roztaveného olova, kde začaly struskovat. Pokud se jednalo o sulfidickou rudu, umožňoval tento technologický postup vynechat fázi oxidačního pražení. Takovýmto způsobem se vyrábělo stříbro v Kutné Hoře a Jáchymově. Nevýhodou zde ovšem bylo, že byla značná spotřeba olova.

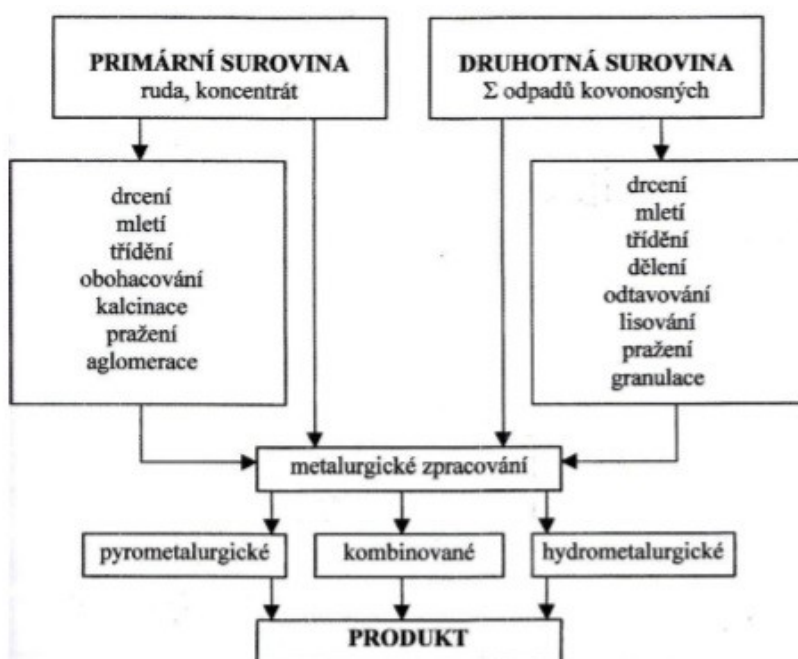
[3] [19] [21] [23]

7.5 Odpady a jejich zpracování

Následující část se věnuje odpadům, které vznikly v procesu a také jeho zpracováním. Řadíme tady například recyklační technologie, které se dále dělí na mechanické recyklační technologie, chemické recyklační technologie, biologické recyklační technologie. Dále zde bude popsána stručná charakteristika odpadu.

7.5.1 Recyklační technologie

Recyklaci odpadů neželezných kovů definujeme jako vrácení odpadů zpět do procesu, ve kterém odpad vznikl. Jedná se tedy o ideální stav, který bohužel v praxi není vždy realizovatelný. Můžeme ho tedy definovat jako využívání výrobků, zpracovatelských a spotřebitelských odpadů, látek a energií v původní nebo pozměněné podobě, bez ohledu na místo nebo čas vzniku odpadu a jejich využití. U různých typů odpadů musíme zvolit vhodnou metodu a technologii k jeho zpracování. [10] Volba vhodné recyklační technologie vždy vychází ze schémat pro zpracování druhotné suroviny, viz. níže. [2]



Obrázek 2 - Schéma zpracování primárních a druhotných surovin [2]

Recyklační technologie můžeme dále rozdělit na mechanické, chemické a biologické recyklační technologie.

1. **Mechanické recyklační technologie** - jsou součástí rozměrové úpravy zpracovávaného odpadu a separace jednotlivých složek odpadu pomocí technologických procesů, které se vyznačují rozdílnými fyzikálními nebo fyzikálně-chemickými vlastnostmi odpadu. Důležitou součástí těchto technologií je třídění. Díky třídění zde můžeme zařadit klasické úpravnické metody. Je zde také proces, který se nazývá zdrobňování, který má za účel změnit velikost kusů výchozí suroviny. Obsahuje technologické postupy drcení a mletí.

Jsou zde také důležité drtiče, které se následně dělí na:

- Česliťovy drtič dvouzpěrný - drtič drtí surovinu mezi pohyblivou a pevnou čelistí. Tyto drtiče jsou používány zejména na hrubé drcení rud a kameniva. [24]
- Kuželové drtiče - drtiče drtí surovinu mezi otočným kuželem uloženým na excentrickém hřídeli a nepohyblivém vnějším drtícím pláští. Kuželový drtič je nejvíce vhodný pro hrubé, střední a jemné drcení tvrdých a houževnatých materiálů. [25]

2. **Chemické recyklační metody** - zde závisí volba na druhu složení koncentraci, množství, stupni homogenity a dalších vlastnostech upravovaného odpadu. Technologie se používá pro neutralizaci škodlivých látek v odpadu. Jako další využití je zde přímá přeměna na druhotnou surovinu. Do této skupiny můžeme zařadit i metalurgické postupy. Zvláštní skupinou jsou zde termické metody.
3. **Biologické recyklační metody** - zde jsou používány buňky, jejich složky nebo katalytické aktivní produkty umělém hmotném prostředí. Příkladem zde můžeme uvést kompostování odpadů nebo mikrobiologické loužení. [26]

Při pyrometalurgické výrobě neželezných kovů vznikají různé strusky. Jedná se o strusky, které obsahují malé množství kovů, plynů a jejich sulfidů. Struska jako taková je mnoho-složkový systém, který tvoří SiO_2 , CaO , FeO . Méně pak také Al_2O_3 , Fe_3O_4 , MgO , BaO , PbO , ZnO a jiné. Všechny složky, které jsou obsažené ve struskách na sebe působí a reagují spolu. Podle charakteru můžeme strusku rozdělit na strusky zásadité (v nich převládá obsah CaO , FeO , MgO), dále kyselé (převážně obsahují SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) a strusky neutrální (zde jsou kyselé složky a zásadité složky téměř ve stejném poměru).

8 Princip flotace

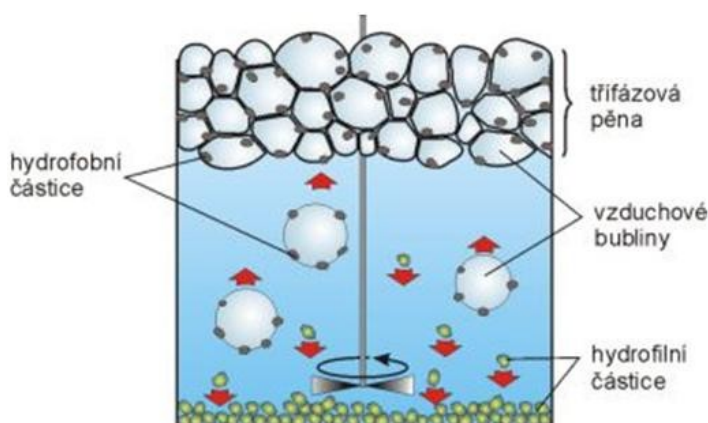
Aby bylo získáno stříbro z daného materiálu, tedy ze strusky, je vhodné využít metodu s názvem flotace. Uvedená metoda se nejvíce využívala k rozdělování nerostných surovin, kdy největší úspěchy zaznamenala ve 20. století. Tímto procesem se ročně upravuje na světě $2 \cdot 10^9$ tun surovin. Momentálně je a samozřejmě i bude nejrozšířenějším postupem rozdělování převážného množství neželezných rud a ušlechtilých kovů, ale také dalších rud a nerudných surovin. Své další uplatnění má i při získávání jednotlivých složek z druhotných zdrojů surovin, v biotechnologii a také i při čištění odpadních vod v rozličných průmyslových odvětvích.

Flotace jako taková, je proces úpravy nerostných surovin, která je založena na rozdílných fyzikálně-chemických vlastnostech povrchu rozdělovaných minerálních zrn, kdy pro jednotlivé minerály podmiňuje rozdílná specifická povrchová energie. Přesněji řečeno se jedná o proces oddělování minerálů, který je založen na rozdílných schopnostech minerálních zrn přichytit a ustát se na povrchu fázového rozhraní. Při flotaci je maximální velikost flotovaných zrn přibližně 0,1 až 0,25 mm. V závislosti na rozdílném povrchovém napětí jsou materiály méně nebo více smáčlivé. Ve flotaci probíhají chemicko-fyzikální děje na fázových rozhraních kapalina-vzduch, kapalina-kapalina, kapalina-pevná látka a pevná látka-vzduch. Při úpravě nerudných surovin, jako je například uhlí, grafit, síra nebo jiné minerály s malou hustotou, mohou do pěnového produktu přecházet zrna až do velikosti 2 mm. V praxi samotné se ovšem flotují obvyčejné zrna podstatně jemnější, pro které platí, že se zmenšováním průměru narůstá specifický povrch a povrchová energie několikrát převyšuje hodnotu potenciální energie. Flotace má spoustu způsobů. Nejpoužívanější metodou je pěnová flotace, která se v současnosti využívá na všechny flotační úpravy. Dále zde můžeme uvést vakuovou flotaci, chemickou, neboli plynnou flotaci, dále elektroflotaci, ionovou flotaci, taktéž olejovou flotaci, filmovou flotaci. Významem flotace je to, aby technologickým postupem úpravy nerostných a druhotných surovin řešilo národohospodářskou úlohu na zabezpečení efektivního, racionálního a komplexního využívání surovinových zdrojů. [27]

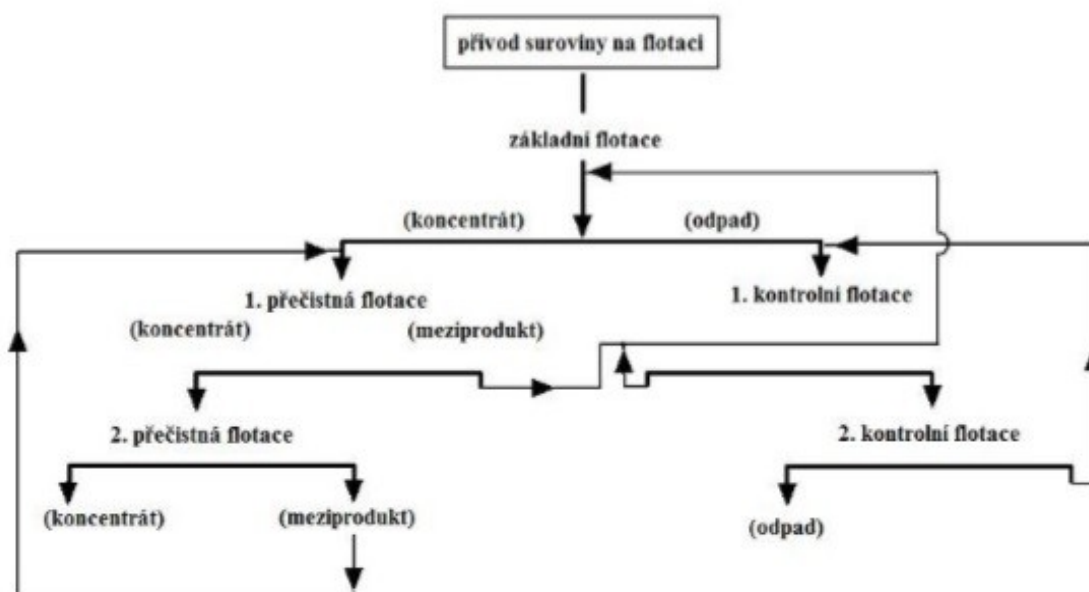
V posledních letech se začínají objevovat výzkumy na rozdělování strusek a jiných kovonosných odpadů, které mohou obsahovat množství zlata, stříbra a celé řady jiných kovů. Předmětem této diplomové práce je flotace na získávání stříbra. V rámci této

separace stříbra nebo jeho sloučenin a to především sulfidů, jsou jako flotační sběrače využívány nejčastěji xantogenany. [28] Při úpravě neželezných rud, a to především s obsahem ušlechtilých kovů, je flotace jedinou přijatelnou metodou k získávání těchto kovů do koncentráту. [27] [43]

Pro provedení flotace, k zjištění koncentrace stříbra (Ag) ze strusky, byla použita metoda pěnové flotace. Jedná se o nejčastější druh flotace, která je využívána. Jde o nejlepší příklad interakce mezi kapalinou a vzduchem. Nacházejí se zde hydrofobní složky, které jsou méně smáčivé a hydrofilní složky, které jsou více smáčivé. Hydrofobní složky jsou ve formě molekul, koloidů nebo zrn o určité velikosti. Jsou selektivně adsorbovány na povrchu vzduchových bublin, kterými jsou následně vynášeny do pěny. Hydrofilní složky k bublinám nepřilnou a klesají ke dnu. Na obrázku 3 můžeme vidět princip flotačního rozdělování a na obrázku 4 příklad schématu flotačního cyklu. [27] [29] [43]



Obrázek 3 - Princip flotačního rozdělování [43]



Obrázek 4 - příklad schéma flotačního cyklu [43]

8.1 Flotační reagence

Flotační reagence patří k nejdůležitějším činitelům celého flotačního procesu spolu s optimálním otevřením zrna a provzdušněním rmutu. Aby byl proces účinný, závisí na optimálním nastavení reagenčního režimu. Flotační reagence ovlivňují a mění povrchovou energii fázového rozhraní mezi tuhou a kapalnou, kapalnou a plynnou fází. Když se změní fázové rozhraní, tak se také mění i flotovatelnost jednotlivých minerálů. Také se mění i počet a velikost vzduchových bublin a mineralizované pěny. Flotační reagence můžeme z chemického pohledu rozdělit na organické a anorganické. Můžou být rovněž v kapalném a pevném skupenství. Ve vodě se můžou vytvořit pravé roztoky, ale některé složky se naopak velmi slabě rozpouští a vytváří koloidní roztoky, emulze a jemné kapky. V současnosti existuje celá řada látek, ale v úpravnictví se uplatňuje jen zlomek množství. Důležitými znaky flotačních reagensů je vysoká selektivita, nízká cena, dobrá dostupnost, nízká toxicita, stálost při skladování, dobrá rozpustnost ve vodě, absence nepříjemného zápachu a mnoho dalších. Flotační reagence, které ovlivňují fázové rozhraní pevná látka-kapalina, můžeme rozdělit na sběrače, řídící flotační reagence, depresory, aktivátory, modifikující reagence. Dále můžeme rozdělit flotační reagence ovlivňující fázové rozhraní

kapalina plyn na pěniče. Aby se dalo dobře nastavit reagenční režim, tak se někdy využívá mikroflotační test. Na základě pak získaných výsledků testování, lze zjistit vhodný nejúčinnější sběrač nebo případně také další reagenty, nastavit optimální dávkování a pH flotované suspenze. Metoda je však pouze orientační, jelikož se při ní nepoužívá pěnič. [27] [29] [30]

8.2 Sběrače

Sběrače jsou organické látky, které vyvolávají nebo zvětšují hydrofóbnost povrchu minerálních zrn a tím podmiňují její flotovatelnost. Sběrače se vážou na nepolární skupiny v molekule sběrače heteropolárního charakteru nebo na celou molekulu sběrače skládající se z nepolární látky. V praxi se používají sběrače heteropolární a nepolární. Častěji se však používají heteropolární, jelikož disocují molekuly na příslušné iony. Molekula heteropolárního ionogenního sběrače obsahuje uhlovodíkový radikál, který je tvořen nepolární a polární částí. Polární skupina sběrače určuje chemické vlastnosti a schopnost přichytit se na nepolární povrch minerálního zrna.

Sběrač se dělí na dvě skupiny, a to ionogenní sběrače, které se následně dělí na anionaktivní a kationaktivní sběrače, a na neionogenní sběrače, kde se například používají petrolej, mazací oleje, oxidovaný petrolej, produkty zpracování ropy, dřeva, uhlí a smůly. [27]

Rozdělení sběračů:

1. Ionogenní sběrače:

- a) Anionaktivní sběrače - Flotují sulfidické minerály, ryze neželezné a ušlechtilé kovy, karbonáty a sulfáty mědi a olova, uhličitánové minerály, fosfáty, atd.
- b) Kationaktivní sběrače - Používají se aminy a jejich primární, sekundární, terciární a kvartérní soli a flotují křemen, silikátové minerály, draselné a sodné soli.

2. Neionogenní sběrače:

Jedná se o nepolární kapalné uhlovodíky. Flotují grafit, černé uhlí, síru, molybdenit, siderit. Zesilují flotační účinek anionaktivních sběračů a jsou vhodné na flotaci velmi jemných minerálních zrn a zintenzivňují flotaci hrubozrnných minerálů. [27]

8.2.1 Anionaktivní sběrače - Xantogenany

Jedná se o soli xantogenanové kyseliny a jako sběrače mají z praktického hlediska nejdůležitější místo ve flotaci. Jsou dobře rozpustné ve vodě a mají dobré sběrací účinky ve flotaci sulfidů, ryzích neželezných kovů, nesulfidických měděných a olovnatých minerálů po aktivaci jejich povrchu sulfidací. Xantogenany se průmyslově vyrábějí reakcí sirouhlíku, hydroxidu draselného nebo sodného a příslušného alkoholu.

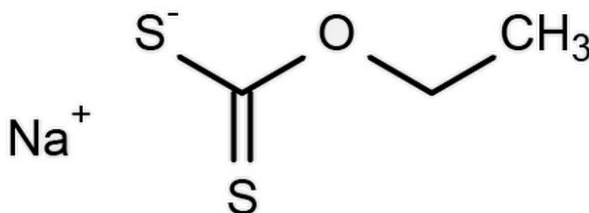


Reakce, která je uvedena probíhá velmi rychle a z alkoholového roztoku vypadává krystalická sraženina xantogenanu. Xantogenany vysoké čistoty se získávají vícenásobnou rekrytalizací v alkoholu. Xantogenany mají charakteristický ostrý česnekový zápach. Vyrábějí se taky kapalné xantogenany, ale tuhé xantogenany jsou čistější. Technické xantogenany, které se také nazývají xantáty, obsahují přímíšeniny a nečistoty, které mají původ ve vedlejších chemických reakcích v procese samostatné výroby. Nejméně z reakce rozpadových produktů, tedy z hydrolýzy. Přímíšeniny, které mohou znečišťovat technický xantogenan, jsou: sulfidy, karbonáty, tiosulfáty, sirouhlík, voda, atd. Název příslušného xantogenanu se skládá z názvu alkoholu, respektive alkylové skupiny radikálu R a kovu Me, které se použily pro syntézu. Jako příklady, které se používají v praxi, můžeme uvést například ethylxantogenan sodný, bythylxantogenan draselný, amylxantogenan draselný, atd. Vzhledem k tomu, že mají dobrou rozpustnost, můžeme je dobře dávkovat, rozdělit, dispergovat v celém objemu flotačního prostředí. Xantogenany těžkých kovů, jako jsou Cu, Pb, Ag, Au apod., jsou prakticky ve vodě nerozpustné a mají klesající tendenci v následujícím pořadí $\text{ZnX}_2 > \text{PbX}_2 > \text{CuX} > \text{AgX}$, kde X je xantogenanový ion ROCSS^- . S pořadím rozpustnosti xantogenanů těžkých kovů se dá odstupňovat flotovatelnost příslušného minerálu. Se zmenšováním rozpustnosti xantogenanu kovu se zlepšuje flotovatelnost minerálu, proto řady flotovatelnosti sulfidů xantogenany je opačný jako řady rozpustnosti $\text{ZnS} < \text{PbS} < \text{Cu}_2\text{S} < \text{Ag}_2\text{S}$. Pokud všechny xantogenany mají stejnou solidofilní skupinu, rozdílný sběrací účinek xantogenanů určuje délka uhlovodíkového řetězce. Se zvyšováním počtu uhlovodíkových skupin roste hydrofobizační účinek a flotační aktivita sběrače při stejné hustotě adsorpční vrstvy na povrchu zrn. Pro selektivní flotaci minerálu polymetalických rud je výhodnější ethylxantogenan a pro těžší

flotovatelné minerály monometalických rud se používají xantogenany s delším uhlovodíkovým radikálem. V praxi je zřejmé, že xantogenany s menším počtem uhlíků mají stejný sběrací účinek jako xantogenany s větším počtem uhlíku, ale při relativně vyšší koncentraci sběrače. [27]

Ethylxantogenan sodný (EXS)

Ethylxantogenan sodný (Obrázek 5) byl použit v práci pro flotaci s Montanolem 800. Jedná se o žlutobílou pevnou látku, která má specifický zápach připomínající česnek. EXS se rozkládá ve vodě se snižujícím se pH a se vzrůstající teplotou. Používá se v průmyslu, jako flotační činidlo pro obnovu kovů. Molekulární vzorec je $C_3H_5OS_2Na$. Při teplotě $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ začíná krystalizovat. [31] [32] EXS byl pro flotaci rozpuštěn ve vodě (H_2O) a za stálého promíchávání nebo protřepání vznikl roztok o složení $CH_3CH_2OCS_2H + NaOH$. Tento vzniklý roztok se následně vlil do flotační cely, kde se spolu se struskou promíchal po dobu 5 minut a následně k němu vlit Montanol 800, který plnil funkci jak pěniče, tak sběrače.



Obrázek 5 - Molekulární struktura EXS [42]

8.2.2 Kationaktivní sběrače - Aminy, Oktadecylamin

Aminy patří do skupiny kation aktivních sběračů. Ve flotaci se nejvíce používají organické sloučeniny. Jejich strukturní vzorec lze odvodit od amoniaku, a to náhradou jednoho, dvou nebo všech tří vodíkových atomů alkylovými nebo arylovými skupinami. Podle počtů těchto atomů rozlišujeme tři skupiny a to primární, sekundární a terciární aminy. Používají se také alkylamoniové soli jak primárních aminů, tak také kvartérních aminů. Tyto sloučeniny ve vodních roztocích disociují a tím vzniká organický heteropolární kation, na který je vázaný hydrofobizující a flotační účinek sběračů této skupiny.

Název aminů je z názvu radikálů, které jsou součástí aminů. Podle charakteru uhlovodíkového radikálu rozeznáváme alkylaminy, arylaminy a alkylarylaminy a jejich soli. Primární alkylaminy zahrnují alkylový řád od oktyalminu až po oktadecylamin. Pro flotaci silikátů se používají aminy s počtem uhlíků C_{16} a C_{18} . Nejvíce se v praxi používají oktylamin, laurylamin, dodecylamin a oktadecylamin. Rozpustnost ve vodě se snižuje s narůstajícím počtem uhlíků v nepolární skupině. Aminy v závislosti od jejich koncentrace v roztoku mají sklon ke tvorbě micel. Při vysokých hodnotách pH se aminy nenacházejí v ionové formě, ale v molekulové. [27]

Oktadecylamin

Jedná se o chemickou sloučeninu ze skupiny alifatických aminů. Jeho molekulární vzorec je $C_{18}H_{39}N$ a jeho molární hmotnost je 269,5 g/mol. [33] [44] Hustota této sloučeniny je 0,86 g/cm³. Bod varu se pohybuje okolo 346 °C, teplota tání se pohybuje v rozmezí 50 - 52 °C a bod vzplanutí je okolo 149°C. [35] [36] [37]

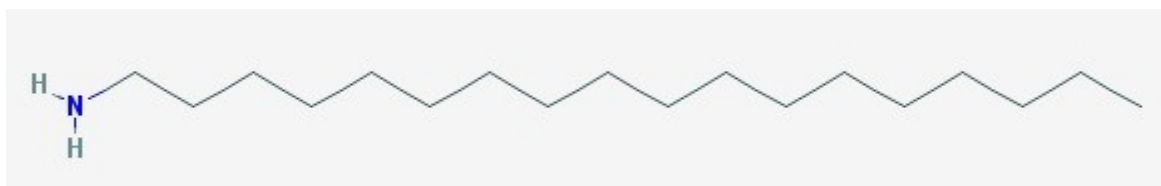
Oktadecylamin (ODA) je bílá hořlavá látka pevného skupenství s charakteristickým zápachem. Jeho jiný název je Stearylamin. Je prakticky nerozpustný ve vodě a rozkládá se při zahřívání. Kvůli tomu produkují toxické výpary včetně oxidů dusíku. Pokud se člověk dostane do styku s látkou pomocí výpar, může nastat kašel, bolest v krku nebo dokonce poškodit plíce. Při kontaktu s kůží se může naskytnout bolest a zarudnutí, objevit otoky a puchýře. Při styku s očima může dojít k zarudnutí, následné bolesti a vážně poškozuje zrak. K ochraně slouží dodržování jednotlivých pravidel a zásad. [35] [36] [37]

Molekuly ODA, jsou hydrofilní amino skupiny a mají dlouhé hydrofobní alkylové řetězce. Je také zjištěno, že ODA se rozpouští ve vysoce těkavých rozpouštědlech, jako jsou chloroform a aceton. Tímto způsobem můžeme mikroskopicky zjistit, že ODA má strukturu květů při relativně nízké volatilitě, za pomoci toluenu nebo ethanolu. Tvoří strukturu listů nebo se nachází v amorfnní formě. [37] ODA se používá na bázi ionexů. Může být také použit pro funkcionalizaci uhlíkových nanomateriálů, a také se používá při získávání oxidu kovů. [38]

Zatímco je ODA téměř nerozpustný ve vodě, je snadno rozpustný v chloroformu. Dále je také rozpustný v alkoholu, etheru a benzenu. Mírně je rozpustný v acetonu. Taktéž je mírně rozpustný v dalších organických rozpouštědlech. Dobře rozpustný je přidáním nějakého rozpouštědla a následným zahřátím. Ve flotaci se ODA používá jako kationový

kolektor. Aby se dobře mohl použít v procesu flotace, používá se způsob zředění s kyselinou chlorovodíkovou a následné zahřátí na potřebnou teplotu, do té doby než začne rozpouštět své krystaly. [44] Tím, že je ODA téměř nerozpustný ve vodě, bylo zapotřebí sbírat a shánět informace, jak tuto chemickou sloučeninu rozpustit. Téma s názvem „*Simultaneous separation of copper, cadmium and cobalt from sea-water by co-flotation with octadecylamine and ferric hydroxide as collectors*” [39] pojednává o oddělení Cu(II), Ca(II) a Co(II) od mořské vody pomocí flotace. Jako flotační činidlo byl použit hydroxid železitý a ODA. Jelikož je ODA nerozpustný ve vodě, muselo se zde vymyslet jak tuto sloučeninu rozpustit. Proto zde byla použita metoda, kdy se ODA rozpustil 6M kyselinou chlorovodíkovou (HCl), methylišobutyl ketonem (MIBK) a ethanolem v poměru 1:2:2. [39] Bylo také zjištěno, ODA se může použít v obnově zinku a železa z gossanských rud. Nebyl zde použit jen ODA, ale také Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 a Na_2S . Výsledkem zde bylo mírné navýšení těchto dvou prvků z rud, ale konečný výsledek nebyl moc účinný. [40] Bylo také studováno, jestli různé směsi aminů jsou ve flotaci lepší než ODA k využití KCl, co by sběračem. Výsledkem bylo, že mnohem vyšším použitím KCl byla získána prostřednictvím směsi aminů. Z měření totiž vyplynulo, že tyto směsi zvýšily hydrofóbnost povrchu KCl. Zde se tedy ve výsledku ukázalo, že směsi aminů byly lepší než ODA. [41]

V dalších případech bylo zjištěno že, ODA se dá rozpustit v toluenu, acetonu, a jak již bylo zmíněno dobře rozpustný v chloroformu. Na obrázku je možno vidět strukturu ODA ve 2D provedení.



Obrázek 6 - Chemická struktura ODA [44]

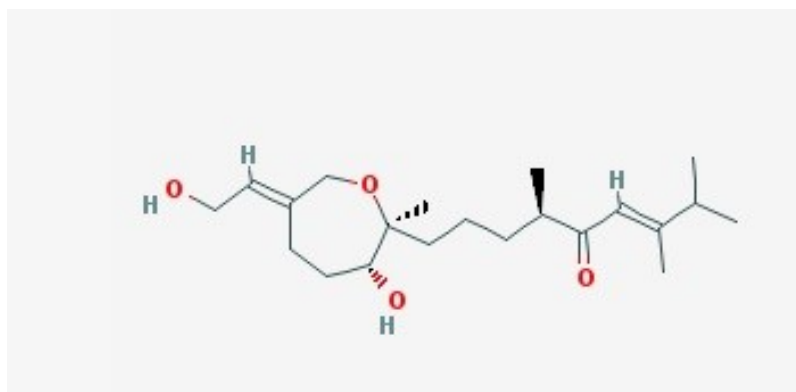
8.2.3 Montanol 800

Montanol 800 (Obrázek 7) je materiál, který má žlutou až nazlátlou barvu. Jedná se o netoxickou kapalinu, obsahující karboxylové sloučeniny, alifatické a aromatické uhlovodíky, alkeny, alkoholy, glykoly, fenoly, estery, ethery a alkany. Působí selektivně, a to je způsobeno tím, že se váže na organické látky a ne na minerální části. Je vhodný pro frakce pod 0,5 mm. Tento materiál se používá v průmyslu pro proces flotace. [29] [49]

Fyzikálně-chemické vlastnosti:

Tabulka 2 - Fyzikálně - chemické vlastnosti Montanol 800 [29]

Vlastnosti	Hodnoty
Skupenství (při 20°C, 1013 hPa)	Kapalina
Barva	Žlutá, nazlátlá
Zápach	Nepatrný
relativní hustota	0,93 g/cm ³
Bod tání	pod - 20 °C
Rozmezí bodu varu	mezi 201 a 365 °C
Rozpustnost ve vodě	0,79 g/l při 20 °C
Bod vzplanutí	96°C na 1013 hPa
Oxidační vlastnosti	není oxidující
Výbušnost	není výbušný



Obrázek 7 - Chemická struktura Montanol [45]

9 Využití flotace při získávání Ag

Poptávka po stříbře neustále stoupá s předstihem průmyslově vyspělých zemí, zatímco celosvětové zásoby vysoce kvalitních stříbrných rud ustupují. Nicméně ještě stále existují žíly stříbrných rud, které mají být ještě využity. Je prokázáno, že hlavní ekonomickou hnací silou za účelem recyklace z ochuzených zdrojů je pro regeneraci stříbra, s cílem vyvinout přírodně vhodnou techniku pro získávání stříbra z různých zdrojů. To musí být analyzováno na ekonomickou stránku a na dopad pro životní prostředí. Krása stříbra už byla známa více jak před 6000 lety a hraje významnou roli v různých aspektech lidského života. Celosvětová poptávka po stříbře je stále zvětšující se spotřebou elektrických a elektronických zařízení. V roce 2014 byla celosvětová produkce stříbra 877,5 miliónu uncí. Stříbro není tak drahé jako zlato nebo platina, avšak se jedná o méně nákladný drahý kov a často bývá ve spojení s rudy zlata, mědi, olova a zinku z metalurgického průmyslu. V posledních letech přírodní zdroje stříbra snižují na náklady stříbrných produkcí a tržní cena stříbra prošla poklesem, navzdory zvýšených aplikací na fotografování, rentgenu, elektroniky a spoustu dalších. S růstem těchto odvětví, bylo intenzivně studováno využití a odstranění stříbra, jelikož dnešní poptávku na trhu představuje akutní problém obnovy stříbra z vyhořelých zdrojů novými ekonomickými a ekologickými technologiemi. Negativní dopad to mělo na znečištění životního prostředí díky iontové toxicitě stříbra, vliv na živočichy i člověka, a řada způsobených chorob a poruch. Těžba a využití stříbra, byly provedeny buď v hydrometalurgii nebo v bio-hutních podnicích. Loužení představuje první krok v hydrometalurgii a navrácení stříbra z různých technik, včetně cementování, chemické srážení, adsorpce, biosorpce, elektro-koagulace, iontové výměny a další. Stříbrné materiály vznikají například z manganových stříbrných rud, žáruvzdorného antimonu, sulfidu stříbrného koncentrátu, výtěžku z odpadních vod, fotografického průmyslu a spoustu dalších. Způsob předběžného zpracování zahrnuje praní, drcení, fyzické oddělení a spalování v závislosti na povaze materiálu a kovu, rafinace, atd. Pro získávání stříbra se používá spousta metod, jak již bylo zmíněno. Jelikož se mé téma týká flotace, tak je tato metoda důležitá. Pro získávání stříbra se používá olejová flotace. Tato technika se používá pro získávání stříbra ze zředěných vodných roztoků, které obsahují komplexotvorné činidla (thiosíran). Flotace se používá pro získání Ag koncentrátu s pomocí anion aktivních nebo kation aktivních sběračů, různých pěničů, a spoustu dalších. [46]

Ve světě bylo zkoumáno spousta experimentů, týkající se flotace z metalurgických odpadů. Díky těmto odpadům se získává spousta kovů. Báňské a hutní těžení sulfidických rud se v současné době vyznačuje velkými ztrátami neželezných a drahých kovů z různých odpadů. Flotace sulfidických rud vytváří flotační hlušiny, zatímco tavení produkuje strusky. Sulfidy získané pomocí flotace z důlních hlušín obsahují velké množství pyritu, které jsou hlavním zdrojem odvodňování kyselých důlních vod. I když je pyrit hlavní složkou minerálních sulfidů, může se skládat také z jiných kovů, například mědi, zinku, olova, atd. Hutní strusky vznikají z pyrometalurgického zpracování neželezných kovů ze sulfidických surovin. Strusky se hromadí na hromadách. Je zde vhodná metoda na získání kovů, a to železitě loužení s biologicky vzniklým Fe^{3+} , pomocí kyseliny sírové. Díky tomu byl navrhnut složitý proces pro obnovu neželezných kovů z důlních a pyrometalurgických odpadů. Tato metoda se skládá z loužení 10 % kyseliny sírové, starých flotačních hlušín. [47]

Další zkoumané studie, byly provedeny pomocí flotace na odstranění těžkých kovů, jako je měď (II), zinek (III), stříbro (I) a chrom (III) z odpadních vod. Jako sběrače pro flotaci byly použity dodecylsulfát sodný a bromid hexadecyltrimethylammonium. Jako pěniče zde byly využity ethanol a methylišobutylketon karbinol. Odstranění kovů se dosáhla asi 74 % za optimálních podmínek při nízkém pH. Při zásaditém pH bylo odstranění z 90 %, v důsledku z flotace kovonosných sraženin. Studie byla provedena z důvodu zvyšující se poptávky po sladké vodě z odpadních vod, z důsledku zvýšení světové populace a rozvoje průmyslových aplikací. Přítomnost těžkých kovů, vykazují vysokou a dlouhodobou toxicitu, k omezení recyklovatelnosti těchto vod. Množství těžkých kovů je obzvláště vysoký v průmyslových odpadních vodách a má vliv na ohrožení lidského zdraví a životního prostředí. Pro tento účel se používají metody typu chemického srážení, extrakce rozpouštědlem, ultrafiltrace, adsorpce a další. Další metoda k odstranění kovů z odpadních vod, může být použita iontová flotace. Tento proces je založen na předávání iontových druhů kovů v odpadních vodách, za použití povrchově aktivních látek a následné odstranění těchto hydrofobních druhů vzduchovými bublinami. Povrchová molekula, která je ve studii použita se skládá z polární iontové hlavy a nepolárního uhlovodíkového řetězce. Připevnění polární hlavy na ionty kovu, se vystavuje nepolární hydrofobní část povrchově aktivního činidla do roztoku. Pokud jsou vzduchové bubliny zavedeny do flotační cely, iontový povrch kovu se odvádí vzduchovými bublinami

mezi vystavené uhlovodíkové řetězce. Proto jsou tyto molekuly povrchově aktivní látky nazývány jako sběrače ve flotaci. Na rozdíl od klasické flotace, kde jsou minerální kovy vyplavovány na povrch a odstraněny s pěnou, tak v iontové flotaci jsou vnášeny kovové ionty. Jinými slovy je iontová flotace selektivní koncentrace iontových kovů ve fázi pěny. Z toho vyplývá, že selektivita procesu iontové flotace je třeba hodnotit na základě relativních výtěžností obou kovových iontů a vody z flotační cely. U této studie byl použit flotátor Denver, při udržování rychlosti 750 otáček za minutu. Koncentrace již zmíněných kovů ve flotační cele byla 10 mg/l. Roztok flotace stabilizuje po dobu jedné minuty a hodnota pH roztoku se upravila na požadovanou hodnotu. Po přidání potřebného množství sběrače se roztok stabilizuje další dvě minuty. Následně byly přidány pěniče a roztok se stabilizoval další minutu před zavedením vzduchu do flotační komory. Pěna byla odstraňována ručně pomocí gumového pádla, v předem nastavených intervalech po dobu až 16 minut. Analýzy byly provedeny pomocí atomové absorpční spektrometrie, pro určení množství kovů v koncentrátu. Je zde důležité pH, protože určuje druh a náboj kovů přítomných v roztoku. V této studii bylo zjištěno, že je možné nalézt podmínky pro tyto kovy a soustředit se na zpětné získávání až 90 % ve fázi pěny, které obsahují méně než 20 % původní vody. S ohledem na snadnost aplikace, nízké náklady a velmi vysokou kapacitu dosažitelných výsledků v procesu, jsou tyto výsledky slibné. Předběžné testy ukázaly, že to bylo také možné, za vhodných podmínek, aby se odstranily kovy od sebe navzájem. Ve vybraných případech měď-stříbro nebo měď-zinek, by mohla měď být selektivně koncentrována ve fázi pěny a druhý kov v roztoku. [48]

Dále byla iontová flotace zkoumána jako alternativní metoda při vymáhání stříbra ze zředěných vodních roztoků, které obsahují komplexotvorná činidla. Technika dispergované flotace vzduchem, byl použit pro generování bublin, zatímco flotační experimenty byly provedeny kationtovým sběračem dodecylaminem. Jako pěnič zde byl použit 0,5 % ethanol. Hlavní parametry, které ovlivňují proces je například pH roztoku, koncentrace povrchově aktivních látek, thiosíranu a stříbra, jakožto kinetických parametrů. Dále doba flotace a rychlost proudění plynu. Použití navrhované metody byla zkoumána pro vývoj rentgenových filmů. Výsledkem této studie byla vysoká výtěžnost stříbra ze zředěných vodních roztoků pomocí iontové flotace, při relativně kratší době, než se používá při jiných obnovovacích metod. Flotační čas zde probíhal pouhých 300 sekund při nízkém pH 4. Za zmínku stojí, že v rámci této studie byla testována použitelnost

navrženého způsobu použití nemocničních fotografických zpracování z X-ray filmů, které bylo shledáno jako nezbytné, aby se dosáhlo k vysokému zpětnému získání stříbra, pomocí předčištění z 90 % okyselení pomocí HNO_3 , při relativně vysoké rychlosti ředění. [49]

Další studie popisuje zpracování zlatých a stříbrných ložisek v procesu flotace pomocí kyanidu. Byl zde použit kyanid měďný a další druhy. Jako sběrače zde byly použity xantáty. Pokud je v přítomnosti zlato a stříbro, jsou většinou spojeny se sulfidickými minerály. Flotační koncentrát se zde vyluhuje a zlato a stříbro se z roztoku odstraní. V době výzkumu se výtěžnosti zlata a stříbra pohybovaly pod hodnotami dosažených studií proveditelnosti. Prospěšný faktor zde byl s obsahem kyanidových druhů, které mohou mít škodlivý vliv na zlato a stříbro ve flotaci. Kyanid je jedním z nejčastějších používaných činidel na železné sulfidy a zvětšují účinnost obecných kovů flotace sulfidů. Kyanid jako silně redukční činidlo, bohužel v této studii významně snížil flotační potenciál, což brání v oxidaci xantátu, který je nezbytný pro hydrofobní povrch pyritu. Zlato a stříbro se při alkalickém pH snížilo díky jejich spojení s pyritem a jakéhokoliv kyanidu nebo kyanidu měďného. Povrchové elektrochemické reakce, zejména oxidace pyritu xantogenátem, byly omezovány buď volným kyanidem, nebo kyanidem měďným založené na elektrochemických studiích na elektrodě pyritu. Změny elektrod pyritu, byly v souladu s odstupem adsorbovaných druhů xantátů v přítomnosti druhů kyanidů, který byl navržen s cílem přispět k hydrofilního povrchu pyritu a k nižšímu oživení flotace. [50]

10 Experimentální část

Experimentální část diplomové práce bude věnována činnostem, které jsou následně popsány. Pro flotační testy byl použit anionaktivní sběrač ve flotaci 1 a pro zbytek flotací se použil kationaktivní sběrač oktadecylamin. Cílem této práce je flotace strusky z dané lokality za účelem nabohacení stříbra do flotačního koncentrátu. Struska, která je určená pro flotace, byla odebrána z lokality Kutná Hora, odvalu Markovičky (Obrázek 8). Odval vznikl po těžbě a zpracování rudy z minulého století. Odebraná struska obsahuje zbytky barevných kovů především ve formě silikátů. Působením atmosférických vlivů (Obrázek 9) vzniká často na povrchu strusky povlak druhotných minerálů mědi společně s kupritem, černým ternoritem a žlutým jarositem.



Obrázek 8 - Odval strusky v Kutné Hoře - Markovičky [foto autor]



Obrázek 9 - Detail vzorku strusky, přítomnost jiných minerálů [foto autor]

10.1 Příprava vzorku

Vzorek strusky určený pro experimentální část, byl odebrán z odvalu Markovičky, přibližně 30 centimetrů pod povrchem. Odebrána struska (Obrázek 10) byla v prostorách laboratoře na VŠB-TU Ostrava podrcena na čelistovém drtiči, následně rozemleta a upravena na zrnitost pod 0,2 mm.



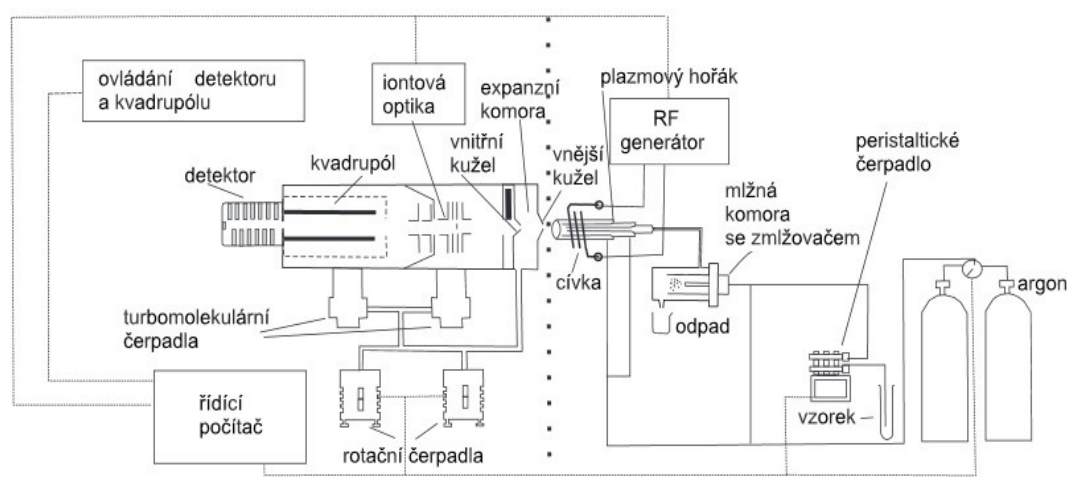
Obrázek 10 - Vzorek strusky na plechu [foto autor]

10.2 Analýza vzorku

Vzorky byly odeslány k analýze do akreditované laboratoře Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. Analýza vzorku byla provedena pomocí mikrovlnného zařízení Milestone, MLS-1200 MEGA Microwave Digestion System lučavkou královskou. Stanovení kovů v mineralizátu bylo provedeno metodou ICP-MS na spektrometru NexION Perkin Elmer. Analýza prokázala přítomnost mnoha kovů a to především Cu, Zn, As, In, Sn, Sb, Au, Ag, Pb a Pd. Je zajímavé, že obsah zlata v některých vzorcích mohl být až 3krát větší, než obsah stříbra. Ve vzorku byl také prokázán zvýšený obsah india.

10.2.1 Metoda ICP-MS

Metoda ICP-MS je hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Vzniklé ionty jsou přes interface vedeny do katalyzátoru. Zařízení rozpoznává odlišné relativní atomové hmotnosti, ale nerozpoznává chemické prvky podle elektronových obalů. Metoda slouží ke stanovení obsahu stopových množství jednotlivých prvků v analyzovaném vzorku. Touto metodou lze analyzovat téměř všechny prvky od lithia po uran s citlivostí od jednotek ppt až po stovky ppm. Ionty vznikají asi po 10 ms od vstupu aerosolu do hlavice. Z hlavice vystupuje směs iontů atomů, fragmentů molekul a argonu. Výhody této metody jsou multielementární analýza, izotopické zředování, vysoká účinnost detekce. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací i provozní náklady. Obrázek 11 znázorňuje schéma ICP-MS. [51] [52]



Obrázek 11 - Schéma ICP - MS [51]

10.3 Metodika flotačních testů

Flotační testy byly provedeny na VŠB-TU Ostrava v laboratoři Institutu environmentálního inženýrství. V rámci experimentů byl použit pneumo-mechanický flotátor VRF-1 (Obrázek 12) s objemem flotační cely 1 dm³. Flotační pěna byla sbírána pomocí shrabovacího zařízení do připravené kádinky. Flotační produkty byly zfiltrovány pomocí vývěvy a následně sušeny v horkovzdušné sušárně při teplotě 105 °C. Po vysušení byly vzorky zváženy, jejich hodnoty zapsány a následně přesypány do vzorkovnic a odeslány na analýzu do akreditované laboratoře Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě.



Obrázek 12 – Pneumo-mechanický flotátor VRF-1 [foto autor]

Pro flotaci 1 byl použit anionaktivní sběrač ethylxantogenan sodný (EXS) a Montanol 800. Během ostatních flotací byl pak použit kationaktivní sběrač okta decylamin (ODA).

Jelikož je ODA téměř nerozpustný ve vodě, bylo k jeho rozpuštění vyzkoušeno několik variant. První variantou bylo rozpouštění v oleji, avšak tímto způsobem se začala

tvořit emulze, kterou by bylo nutno před aplikací rozmíchat ve vysokootáčkovém míchacím zařízení.

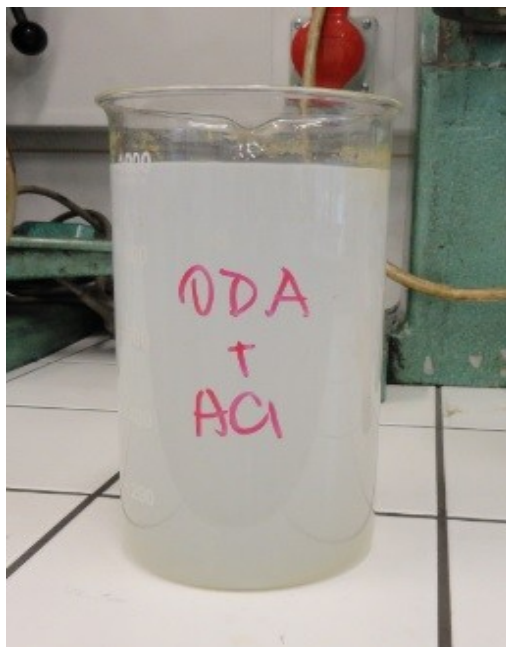
Druhou variantou bylo rozpouštění v petroleji, ale za daných podmínek k rozpouštění nedošlo.

Třetí variantou bylo smíchání ODA s kyselinou chlorovodíkovou (HCl). Ve světě byl tento pokus proveden pomocí 6M HCl. [39] Po smíchání s HCl (1M) došlo k rozpouštění ODA, avšak k úplnému rozpouštění musel být roztok zahřán na 70 °C. Následně byl roztok doplněn destilovanou vodou na objem 600 ml.

Kritická micelární koncentrace (KMK) se pohybuje u většiny tenzidů v rozmezí 10^{-5} až 10^{-3} mol·dm⁻³. [43] Aby se nevytvářely během rozpouštění ODA do roztoku micely, nesměla navážka daného detergentu překročit stanovenou mez.

Roztok byl následně vlit do kádinky s vodou (600 ml), která získala mléčně bílou barvu (Obrázek 13).

Další možností bylo rozpouštění ODA v H₂O při zahřátí na 100 °C. Po dosažení této teploty se ODA ve vařící vodě rozpustil, ale po následném zchladnutí kapaliny se začaly tvořit micely. Pro flotační testy byla tedy použita varianta rozpouštění ODA v HCl při 70 °C.



Obrázek 13 - ODA + HCl [foto autor]

10.4 Flotační testy

Podkapitola obsahuje samotnou experimentální část, která byla provedena v laboratoři VŠB - TU Ostrava, Institutu environmentálního inženýrství. Následně bude popsán průběh všech flotačních testů a jeho vyhodnocení. V Tabulce 3 jsou popsány použité flotační sběrače.

Tabulka 3 - Použité flotační sběrače

Flotace 1	Ethylxantogenan sodný (EXS) + Montanol 800
Flotace 2	Oktadecylamin (ODA) + kyselina chlorovodíková (HCl) 20 ml/50 g suroviny
Flotace 3	Oktadecylamin (ODA) + kyselina chlorovodíková (HCl) 20 ml/100 g suroviny
Flotace 4	Oktadecylamin (ODA) + kyselina chlorovodíková (HCl) 40 ml/50 g suroviny
Flotace 5	Oktadecylamin (ODA) + kyselina chlorovodíková (HCl) 40 ml/100 g suroviny

10.4.1 Flotace 1

Flotace 1 probíhala za následujících podmínek, které jsou uvedeny v Tabulce 4:

Tabulka 4 - Podmínky flotace 1

Zahuštění suspenze	50 g/dm ³ (pod 0,2 mm)
Flotační činidlo - dávka	EXS - 100 g/t
Dávka pěniče i sběrače	5 kapek Montanol 800 (500 g/t)
Doba agitace	5 minut
Délka flotace	15 minut
pH	neutrální

Flotace probíhala po dobu 15 minut. Bylo naváženo 50 g vzorku o zrnitosti pod 0,2 mm. Jako flotační činidlo byl použit ethylxantogenan sodný v dávce 100 g/t suroviny. Zároveň byl použit Montanol 800 v dávce 5 kapek (500 g/t). Doba agitace před samotnou flotací byla 5 minut.

Vzorek byl nejprve ve flotační cele smíchán s vodou. Poté byl přidán EXS a po agitaci 5 minut bylo dále přidáno 5 kapek Montanol 800. Po další minutě agitace byl zapnut přívod vzduchu do flotační cely a spuštěna stírací lopatka, která stírala pěnový produkt do připravené nádoby po dobu 15 minut.

Pěna byla na počátku flotace silně mineralizována s hustou pěnou (Obrázek 14).



Obrázek 14 - Pěna po 1 minutě [foto autor]

Během flotace bylo pomocí stříčky naplněné vodou stříkáno po stranách flotační cely, aby pěna neulpívala na stěnách. Po 10 minutách vytvořená pěna ztrácela svou mineralizaci a bledla (Obrázek 15). Po 15 minutách byla flotace ukončena.



Obrázek 15 - Pěna po 10 minutách [foto autor]

Po skončení flotace byl koncentrát i odpad zfiltrován přes předem zvážený filtrační papír pomocí vývěvy. Následovalo sušení zfiltrovaného koncentrátu a odpadu v sušárně při teplotě 105 °C. Po uplynulé době byly vysušené vzorky zváženy, přesypány do vzorkovnic a odeslány na analýzu Zdravotnímu ústavu se sídlem v Ostravě. Výsledky testu flotace 1 jsou uvedeny v Tabulce 5.

Tabulka 5 - Výsledky flotace 1 (EXS + Montanol 800)

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [mg·kg ⁻¹]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	55	100		
K	33,46	76,9	46,78	15,90	1,4
O	66,54	43,99	53,23		

P - Přívod

K - Koncentrát

O - Odpad

Z výsledku vyplývá, že kovnatost koncentrátu byla nakoncentrována z původních 55 mg·kg⁻¹ stříbra na hodnotu 76,9 mg·kg⁻¹ a to při výnosu 33,46 % a výtěžnosti 46,78 %. Účinnost flotace 1 vzorku se pohybovala na hodnotě 15,90 %.

10.4.2 Flotace 2

Flotace 2 probíhala za následujících podmínek uvedené v Tabulce 6.

Tabulka 6 - Podmínky flotace 2

Zahuštění suspenze	50 g/dm ³ (pod 0,2 mm)
Flotační činidlo - dávka	ODA + HCl (100 g/t)
Dávka pěniče	Borovicový olej (5 kapek) (500 g/t)
Doba agitace	5 minut
Doba flotace	15 minut
pH	6,5

Flotace probíhala po dobu 15 minut při navážce 50 g vzorku. Jako flotační činidlo byl použit roztok (ODA + HCl) v množství 20 ml (100 g/t suroviny). Roli pěniče zde plnil borovicový olej v dávce 5 kapek (500 g/t). Doba agitace před flotací byla 5 minut.

Agitace probíhala 5 minut. Následně bylo přidáno 5 kapek borovicového oleje a zapnut přívod vzduchu zároveň se stírací lopatkou, která sbírala pěnový produkt do připravené nádoby. Po dobu flotace, byla lopatka a flotační cela omývána stříčkou, aby pěna neulpívala na stěnách cely.

Na počátku flotace byla pěna mineralizovaná a zbarvena do hněda, tvořily se bubliny o maximální velikosti 5 mm (Obrázek 16).



Obrázek 16 - Pěna po 1 minutě[foto autor]

Téměř po 10 minutách pěna ztrácela svou hnědou barvu a postupně ztrácela mineralizaci (Obrázek 17). Po 15 minutách byla flotace ukončena.



Obrázek 17 - Flotace po 10 minutách [foto autor]

Po skončení flotace byly koncentrát a odpad zfiltrvány přes předem připravené filtrační papíry pomocí vývěvy. Po zfiltrování následovalo sušení koncentrátu a odpadu v sušárně při teplotě 105 °C. Po uplynulé době byly vysušené vzorky zváženy, přesypány do vzorkovnic a odeslány na analýzu akreditované laboratoři Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. Výsledky flotace 2 (ODA + HCl) 20 ml jsou uvedeny v Tabulce 7.

Tabulka 7 - Výsledky flotace 2 (ODA + HCl - 20 ml/50 g suroviny)

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [mg·kg ⁻¹]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	55	100		
K	16,98	126	38,9	24,06	2,3
O	83,02	40,48	61,1		

P - Přívod

K - Koncentrát

O - Odpad

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že kovnatost koncentrátu byla nakoncentrována z původních 55 mg·kg⁻¹ stříbra na hodnotu 126 mg·kg⁻¹ a výnosu 16,98 % při výtěžnosti 38,9 %. Účinnost experimentu byla 24,06 %. Z výsledku je tedy patrné, že oproti minulé flotaci, kde byl použit anionaktivní sběrač EXS a Montanol 800, je tato

kovnatost, účinnost a obohacení na lepší a vyšší hodnotě. Z výsledku je patrné, že i když byla dosažena vysoká kovnatost, tak i přesto zůstalo více než 60 % stříbra v odpadu.

10.4.3 Flotace 3

Flotace 3 probíhala stejných podmínek jako ve flotaci předchozí jen se změnou zahuštění uvedené v Tabulce 8.

Tabulka 8 - Podmínky flotace 3

Zahuštění suspenze	100 g/dm ³ (pod 0,2 mm)
Flotační činidlo - Dávka	ODA + HCl (100 g/t)
Dávka pěniče	Borovicový olej (5 kapek) (500 g/t)
Doba agitace	5 minut
Doba flotace	15 minut
pH	6,5

Doba flotace u tohoto experimentu byla 15 minut. Zde bylo naváženo 100 g/dm³ suroviny. Flotační činidlo bylo použito (ODA + HCl) 20 ml. Pěničem byl borovicový olej o dávce 5 kapek. Agitační doba zde byla 5 minut.

Navážená struska byla smíchána s vodou a vlita do flotační cely, která měla objem 1 dm³. Před promícháním bylo vlito do flotační cely činidlo (ODA + HCl) o dávce 20 ml. Následovala doba agitace po dobu 5 minut. Po uplynutí této doby byl zapnut přívod vzduchu a přidáno 5 kapek borovicového oleje. Následně byla spuštěna stírací lopatka, která po dobu flotace stírala obsah pěny do předem připravené kádinky.

Flotace proběhla za stejných podmínek, jako předchozí s výjimkou jiné navážky. Pěna byla na počátku flotace mineralizovaná a získala sytě hnědou barvu (Obrázek 18).



Obrázek 18 - Pěna po 1 minutě [foto autor]

V průběhu flotace bylo omýváno pomocí stříčky s vodou stěny flotační cely a také stírací lopatka, aby pěna zbytečně neulpívala. Na rozdíl od minulé flotace začala pěna pomalu blednout již po necelých 8 minutách a pomalu ztrácela svou mineralizaci (Obrázek 19). Na konci flotace, pěna téměř zbledla (Obrázek 20)



**Obrázek 19 - Flotace po 8 minutách
[foto autor]**



Obrázek 20 - Pěna po 15 minutách
[foto autor]

Po ukončení flotace byly koncentrát a odpad zfiltrvány přes předem připravené filtrační papíry pomocí vývěvy. Po zfiltrování těchto dvou produktů byly vzorky usušeny v sušárně při teplotě 105 °C. Po uplynulé době byly usušené vzorky zváženy, přesypány do vzorkovnic a odeslány na analýzu akreditované laboratoři Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. V Tabulce 9 jsou uvedeny výsledky flotace (ODA + HCl) 20 ml při navážce 100 g/t suroviny.

Tabulka 9 - Výsledky flotace 3 (ODA + HCl - 20 ml/100 g suroviny)

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [mg·kg ⁻¹]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	55	100		
K	13,53	123	30,26	18,40	2,24
O	86,47	44,36	69,74		

P - Přívod

K - Koncentrát

O - Odpad

Z výsledků, které jsou uvedeny v Tabulce 9 plyne, že kovnatost koncentrátu byla nakoncentrována z počátečních 55 mg·kg⁻¹ stříbra na hodnotu 123 mg·kg⁻¹. Tento vzorek byl obohacen i o navážce 100 g suroviny podobně jako vzorek ve flotaci 2 při výnosu

13,53 % výtěžnosti 30,26 % a účinnosti 18,40 %. Ve flotaci 3 přešlo do odpadu téměř 70 % stříbra.

10.4.4 Flotace 4

Flotace 4 probíhala za následujících podmínek uvedené v Tabulce 10.

Tabulka 10 - Podmínky flotace 4

Zahuštění suspenze	50 g/dm ³ (pod 0,2 mm)
Flotační činidlo - dávka	ODA + HCl (200 g/t)
Dávka pěniče	Borovicový olej (5 kapek) (500 g/t)
Doba agitace	5 minut
Doba flotace	15 minut
pH	6

Flotační čas pro tento experiment byl 15 minut. Bylo naváženo 50 g/t suroviny. Zde bylo oproti flotaci 2 a 3 použito flotační činidlo o dávce 40 ml na 50 g suroviny. Roli pěniče zde plnil borovicový olej o dávce 5 kapek a doba agitace byla 5 minut.

Navážena struska o zrnitosti pod 0,2 mm byla následně ve flotační cele o objemu 1 dm³ smíchána s vodou. Před agitačním časem bylo do flotační cely vlito flotační činidlo (ODA + HCl) o dávce 40 ml. Následovala doba agitace a po 5 minutách byl do flotátoru zapnut přívod vzduchu a následně přidáno 5 kapek borovicového oleje. Lopatka a stěny flotační cely byly omývány stříčkou.

Pěna byla dobře mineralizovaná na počátku flotace (Obrázek 21).



Obrázek 21 – Pěna po 1. minutě [foto autor]

Už na počátku flotace pěna začala blednout a postupně ztrácet svou bohatou pěnu. Na Obrázku 22 je výsledek po 5 minutách, na Obrázku 23 po 10 minutách a na Obrázku 24 po 15 minutách, kdy pěna zbělala a ztratila svou mineralizaci.



**Obrázek 22 - Flotace po 5 minutách
[foto autor]**



**Obrázek 23 - Flotace po 10 minutách
[foto autor]**



Obrázek 24 - Flotace po 15 minutách [foto autor]

Po ukončení flotace byly koncentrát a odpad zfiltrvány přes filtrační papíry pomocí vývěvy. Po zfiltrování byly koncentrát a odpad vysušeny v sušárně při teplotě 105 °C. Po usušení vzorků se koncentrát i odpad zvažily a přesypaly do vzorkovnic, které byly odeslány na analýzu akreditované laboratoři Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. V Tabulce 11 jsou uvedeny výsledky flotace (ODA + HCl) 40 ml při navážce 50 g/t suroviny.

Tabulka 11 - Výsledky flotace 4 (ODA + HCl - 40 ml/50 g suroviny)

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [mg·kg ⁻¹]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	55	100		
K	22,56	87,9	36	15,50	1,6
O	77,44	45,42	64		

P - Produkt

K - Koncentrát

O - Odpad

Z výsledků Tabulky 11 je patrné, že kovnatost koncentrátu byla navýšena z původních 55 mg·kg⁻¹ stříbra na hodnotu 87,9 mg·kg⁻¹ a to při výnosu 22,56 %, výtěžnosti 36 % a následné účinnosti 15,50 %. Je tedy zřejmé, že hodnoty za použití většího množství flotačního činidla jsou oproti flotaci 2 a 3 výrazně nižší.

10.4.5 Flotace 5

Flotace 5 probíhala za následujících podmínek uvedených v Tabulce 12.

Tabulka 12 - Podmínky flotace 5

Zahuštění suspenze	100 g/dm ³ (pod 0,2 mm)
Flotační činidlo - Dávka	ODA + HCl (200 g/t)
Dávka pěniče	Borovicový olej (5 kapek)
Doba agitace	5 minut
Doba flotace	15 minut
pH	6

Doba flotace, po kterou byl tento experiment prováděn byla 15 minut. Navážka byla 100 g/t suroviny. Ve flotaci se použilo 40 ml flotačního činidla na 100 g suroviny. Borovicový olej zde byl použit jako pěnič v dávce 5 kapek. Doba agitace před samotnou flotací byla 5 minut.

Navážena struska o zrnitosti pod 0,2 mm byla smíchána ve flotační cele o objemu 1 dm³ s vodou. Než byla započata agitace bylo do flotační cely vlito flotační činidlo (ODA + HCl) o dávce 40 ml. Po agitaci bylo přidáno 5 kapek borovicového oleje a zapnut přívod vzduchu a stírací lopatka, která byla po celou dobu flotace společně se stěnami flotační cely omývána stříčkou s vodou, aby zrna neulpívala na těchto místech.

U flotace 5 byla pěna na počátku experimentu mineralizována (Obrázek 25).



Obrázek 25 - Pěna po 1 minutě [foto autor]

I když zde byla pěna od počátku flotace dobře mineralizována, už po uplynutí 5 minut ztrácela na své mineralizaci a pěna začala šednout (Obrázek 26). Pěna během svého procesu začala ztrácet na své bohatosti, začala blednout a po 15 minutách zcela vybledla (Obrázek 27).



**Obrázek 26 - Flotace po 5 minutách
[foto autor]**



Obrázek 27 - Flotace po 15 minutách
[foto autor]

Po ukončení flotace byly koncentrát i odpad zfiltrvány přes filtrační papíry pomocí vývěvy. Po zfiltrování byl koncentrát i odpad vysušen v sušárně při teplotě 105 °C. Jakmile byly vzorky vysušeny, zváženy, přesypány do vzorkovnic, byly odeslány na akreditovanou laboratoř Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě k analýze ke stanovení stříbra. V Tabulce 13 jsou uvedeny výsledky.

Tabulka 13 - Výsledky flotace 5 (ODA + HCl - 40 ml/100 g suroviny)

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [mg·kg ⁻¹]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	55	100		
K	24,3	90,1	39,81	17,70	1,6
O	75,7	44,1	60,7		

P - Přívod

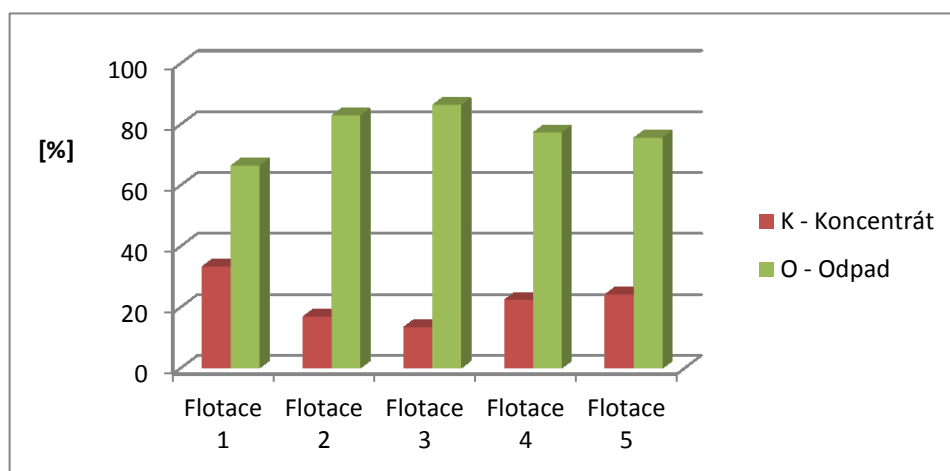
K - Koncentrát

O - Odpad

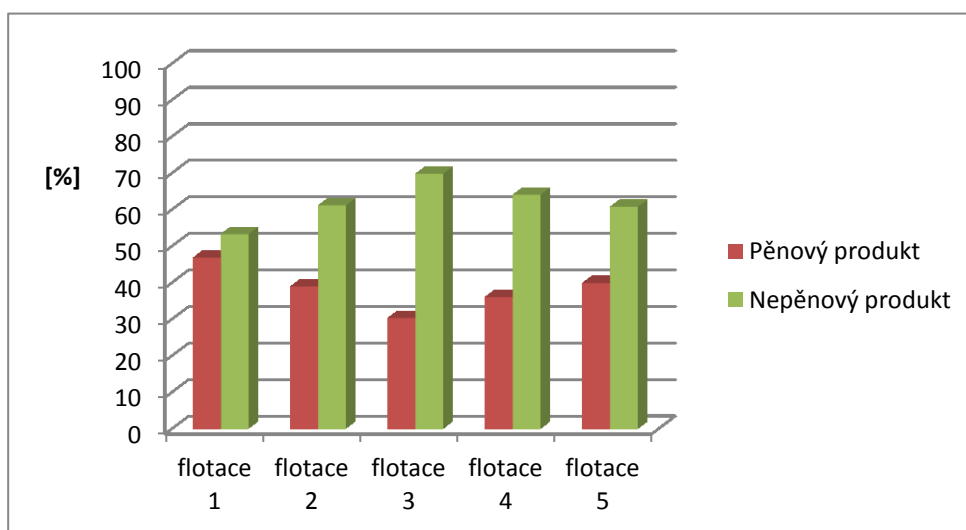
Z výsledku je zřejmé, že kovnatost koncentráту byla navýšena z původních 55 mg·kg⁻¹ stříbra na hodnotu 90,1 mg·kg⁻¹ při výnosu 24,3 % a výtěžnosti 39,81 % s účinností 17,70 %. Je patrné, že i když opět bylo použito 40 ml flotačního sběrače při vyšším zahuštění, tak hodnoty byly velice podobné jako hodnoty uvedené ve flotaci 4.

10.4.6 Vyhodnocení flotací

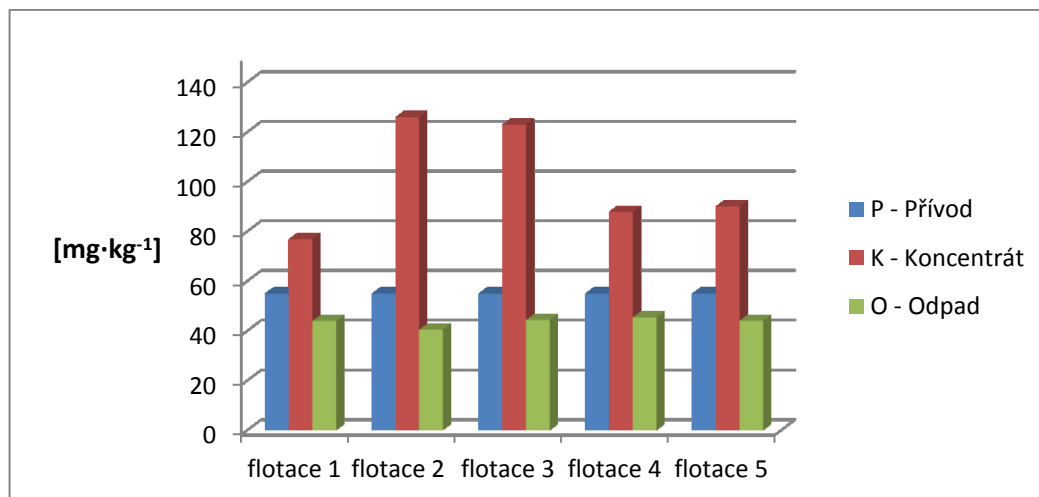
V následující podkapitole jsou graficky znázorněny výsledky všech flotací. Na Obrázku 28 jsou graficky znázorněny výsledky výnosů produktů jednotlivých flotací, na Obrázku 29 jsou pak znázorněny výtěžnosti Ag do produktů jednotlivých flotací. Obrázek 30 pak znázorňuje graf kovnatostí stříbra u produktů jednotlivých flotací a na Obrázku 31 je znázorněn graf obohacení flotačních koncentrátů.



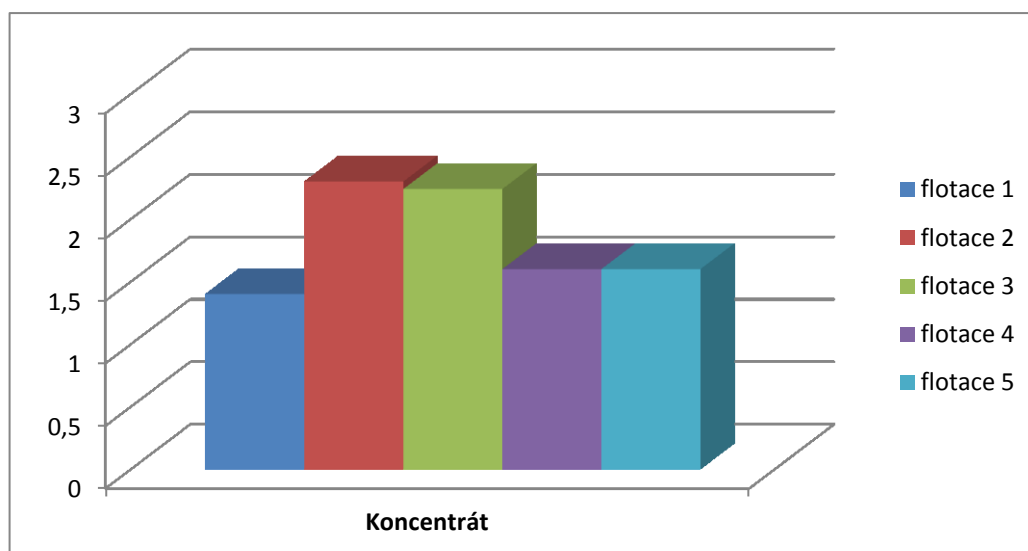
Obrázek 28 - Graf výnosů jednotlivých flotací



Obrázek 29 - Graf výtěžností jednotlivých flotací

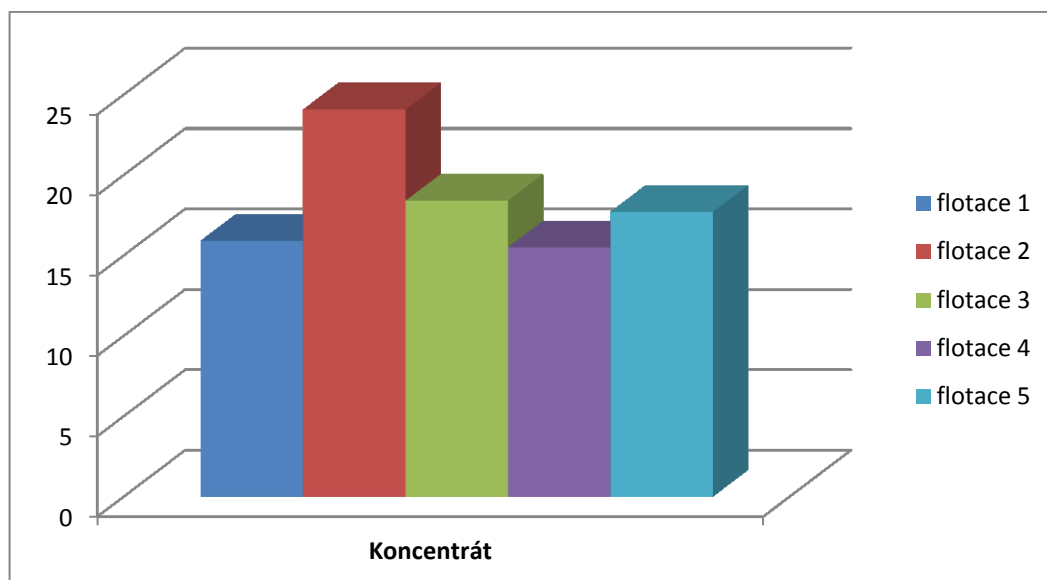


Obrázek 30 - Graf kovnatostí jednotlivých flotací

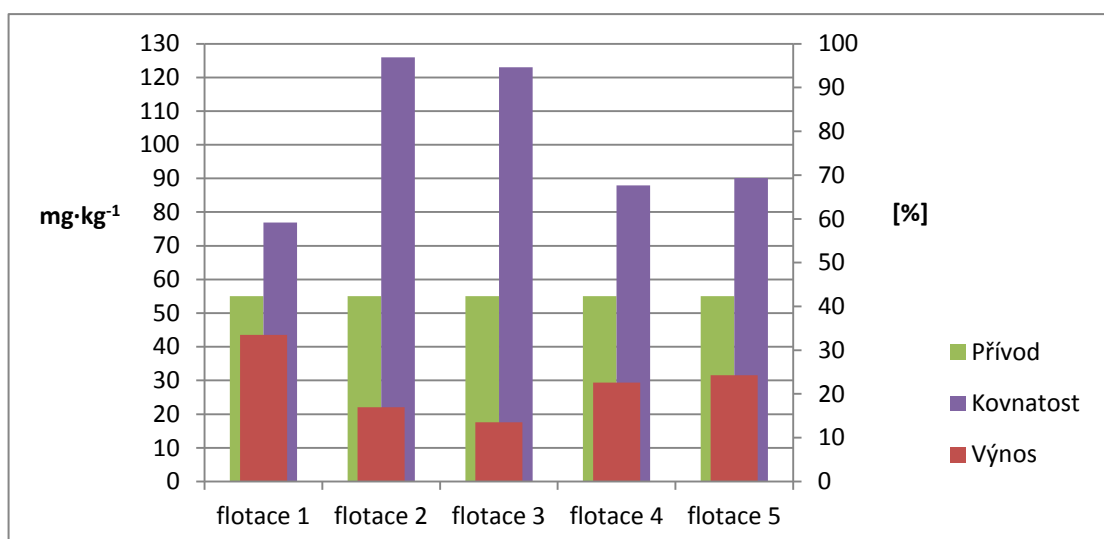


Obrázek 31 - Graf obohacení jednotlivých flotací

Na následujícím grafu (Obrázek 32) jsou znázorněny účinnosti, které byly vypočteny u jednotlivých flotačních testů, graf na Obrázku 33 pak znázorňuje srovnání výnosů a kovnatostí u jednotlivých flotací.



Obrázek 32 - Graf účinností jednotlivých flotací



Obrázek 33 - Srovnání výnosů s kovnatostí jednotlivých flotací

10.4.7 Srovnání výsledků

Po vyhodnocení výsledků je zřejmé, že bylo dosaženo nejlepších výsledků u flotace 2 a to výnos koncentráту 16,98 % s následnou kovnatostí stříbra 126 mg·kg⁻¹. Výtěžnost se zde pohybovala na 38,9 % s účinností 24,06 %. Obohacení zde bylo 2,3 krát. Tato flotace byla provedena při zahuštění 50 g s dávkou flotačního činidla (ODA + HCl) 20 ml (experiment 1).

Za úvahu stojí zmínit, že podobných výsledků bylo dosaženo u flotace 3 při zahuštění 100 g/dm^3 a použitím sběrači (ODA+HCl) 20 ml, kde bylo vyhodnoceno, že při výnosu koncentrátu 13,53 % byla kovnatost stříbra $123 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, což je jen nepatrný rozdíl oproti flotaci 2. Výtěžnost byla 30,26 % a účinnost 18,40 %. Obohacení zde bylo velice podobné jako ve flotaci 3, a to 2,24.

Pro srovnání výsledků byly použity již předešlé diplomové práce, které se zabývají také touto problematikou za jiných podmínek. U těchto akademických prací byla struska také odebrána z lokality Kutná Hora.

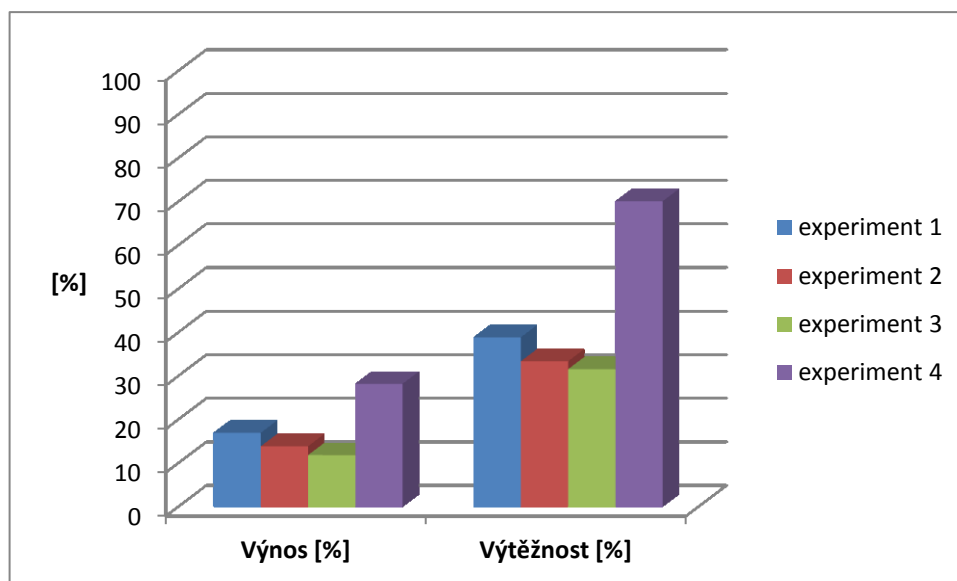
Jedna z prací [21] (experiment 2) se zabývala flotací nepražené a pražené strusky. Autor této práce dosáhl nejlepších výsledků u nepražené strusky s hodnotami výnosu 13,91 %, kovnatosti stříbra $292 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, výtěžnosti Ag do koncentrátu 33,41 % a obohacení 2,4. Jako sběrač byl použit EXS o dávce 300 g/t suroviny a jako pěnič borovicový olej o dávce tři kapek. Zahuštění rmutu bylo 50 g strusky na dm^3 .

Další práce [22] (experiment 3) se zabývala opět flotací stříbra z lokality u Kutné Hory. Nejlepší výsledek byl při výnosu 11,88 %, kovnatosti $316 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, výtěžnosti 31,6 % a obohacení 2,7. Flotace probíhala za použití kombinace sběračů EXS + IBXS (isobuthylxantogenan sodný) v poměru 1:1. Roli pěniče zde plnil borovicový olej v hodnotě 4 kapek. Zahuštění rmutu bylo 50 g/dm^3 .

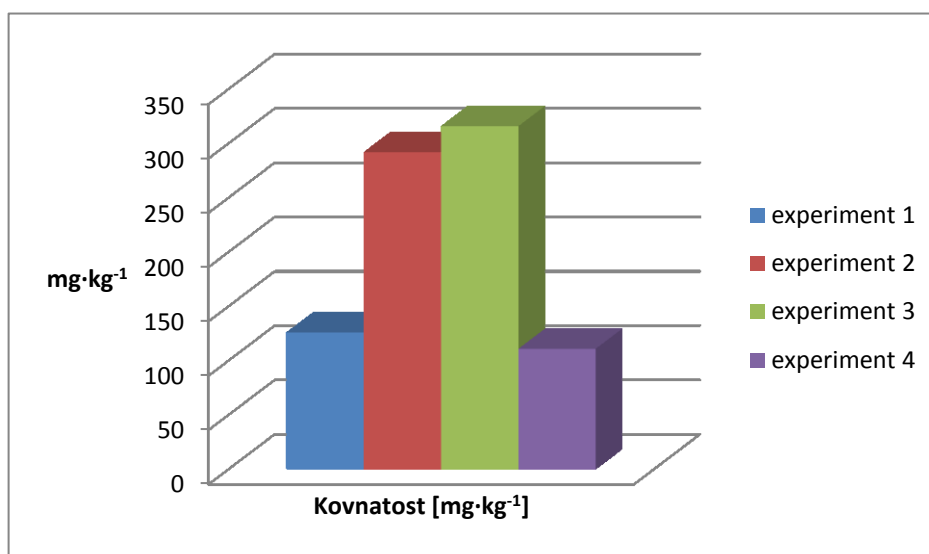
Poslední práce zabývající se touto problematikou [23] (experiment 4) se zabývala flotací Ag-strusky z lokality u Kutné Hory po bakteriálním loužení s bakteriemi *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Nejlepší výsledek byl dosažen při výnosu 28,24 %, kovnatosti $111 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, výtěžnost 70,13 % a obohacení 2,48 a to po 1 hodině biochemického loužení. Jako flotační sběrač byl použit amylxantogenan draselný (KAX) v dávce 100 g/t suroviny. Pěničem byl borovicový olej. Zahuštění rmutu bylo 50 g/dm^3 .

Hodnoty výše zmíněné z předchozích akademických prací byly vybrány jako nejlepší k danému tématu. Předchozí práce byly uskutečněny pomocí anionaktivních sběračů.

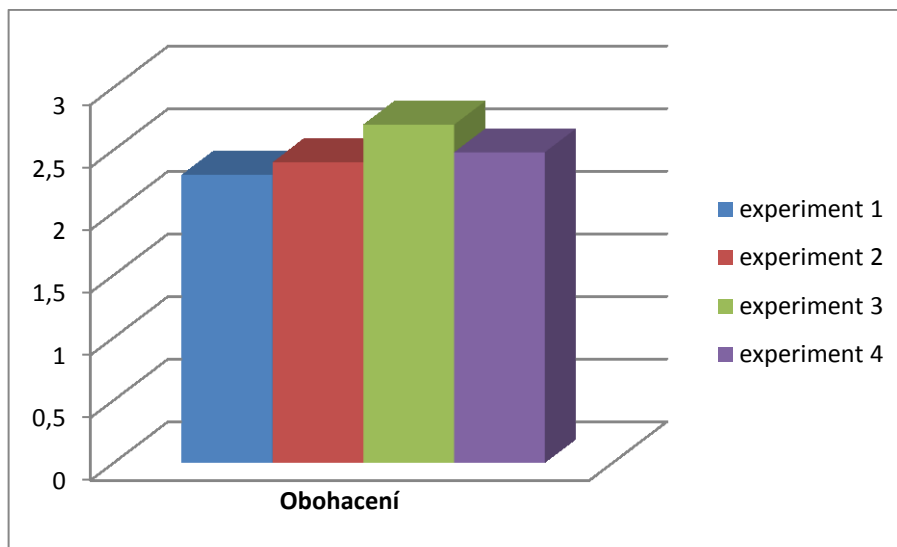
V této diplomové práci byl, kromě flotace 1, použit kationaktivní sběrač. V grafech (Obrázek 33, 34 a 35) jsou porovnány výsledky této diplomové práce s výše uvedenými experimenty.



Obrázek 34 - Srovnání předchozích prací - nejlepší dosažené výsledky výnos, výtěžnost



Obrázek 35 - Srovnání předchozích prací - nejlepší dosažené výsledky kovnatostí



Obrázek 36 - Srovnání předchozích prací - nejlepší výsledky obohacení

Z následujících výsledků vyplývá, že u každého experimentu byly téměř podobné hodnoty. Průměrná hodnota všech výnosů se pohybuje okolo 16 %, ovšem nejmenšího výnosu bylo dosaženo v experimentu 3.

Průměrná hodnota výtěžnosti se pohybovala okolo 42 % a nejvyšší výtěžnosti bylo naměřeno v experimentu 4.

Nejdůležitějším faktorem bylo určení kovnatosti, kdy nejlepší hodnoty bylo dosaženo opět u experimentu 3.

Průměrná hodnota obohacení koncentrátu se pohybovala okolo 2,5. Nejvyšší obohacení bylo dosaženo opět u experimentu 3.

Z následujících informací vyplývá, že ze všech prací, které byly uskutečněny, bylo nejlepšího výsledku dosaženo u experimentu 3.

11 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda pomocí kationaktivních sběračů, konkrétně oktadecylaminu, lze dosáhnout nabohacení stříbra do flotačního koncentrátu ze strusky odebrané z odvalu Markovičky, nacházející se v okolí Kutné Hory. Hlavním kritériem bylo dosáhnout co nejvyšší kovnatosti koncentrátu a zároveň co nejvyšší výtěžnosti Ag do koncentrátu při snížení objemu suroviny. Pro srovnání byl u flotace 1 použit také anionaktivní sběrač ethylxantogenan sodný.

V rámci testů bylo provedeno celkem 5 flotací, které jsou popsány podrobně v experimentální části. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo u flotace 2, kde výnos byl 16,98 % s následnou kovnatostí stříbra $126 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Výtěžnost se zde pohybovala na hodnotě 38,9 % s účinností 24,06 %. Více jak 60 % Ag tedy přešlo do odpadu. Obohacení zde bylo skoro 2,5 násobné. Podobných výsledků bylo dosaženo u flotace 3. Kovnatost přírodního vzorku byla $55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Flotace při experimentu za daných podmínek bohužel nedosáhla významnému nabohacení Ag do koncentrátu, tudíž za provedených podmínek nebyla účinná. Je otázkou, zda-li použitá flotační metoda, by byla účinná za provedení jiných podmínek.

Velice zajímavou informací je zjištění, že v některých vzorcích byl výskyt dalších vzácných kovů. Jedná se o kovy měď (Cu), zinek (Zn), arsen (As), indium (In), cín (Sn), antimon (Sb), zlato (Au), stříbro (Ag), olovo (Pb) a paládium (Pd). Zajímavostí je výskyt Au ve strusce, a to i přes to, že struska byla odebrána v okolí Kutné Hory. Po analýze vzorků bylo zjištěno, že právě zlato může být ve vzorcích obsaženo až trojnásobně než stříbro. Zajímavostí je také i výskyt india. Proto by bylo zajímavé se těmto kovům (Au, In) věnovat v dalších diplomových pracích.

Seznam použité literatury

- [1] KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Recyklace ušlechtilých kovů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, 100 s. ISBN 80-7078-939-5.
- [2] KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Recyklace neželezných kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, fakulta Metalurgie a materiálového inženýrství, 2003, 57 s. ISBN 80-248-0485-9.
- [3] ZÁVADA, Jaroslav a Tomáš BOUCHAL. *Chemické metody zpracování nerostných surovin a odpadů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 99 s. ISBN 978-80-248-2356-0.
- [4] PAWLEK, Franz. *Metallhüttenkunde*. Berlin: Walter de Gruyter, 1983, xxii, 865 s. ISBN 3-11-007458-3.
- [5] KURSA, M.: *Význam hutnictví neželezných kovů v oblasti rozvoje nových materiálů a technologií, perspektivy a koncepce výuky do této problematiky*. Hradec nad Moravicí: VŠB TU Ostrava, 1999, 18 s. bez ISBN.
- [6] KURAŠ, Mečislav, Vojtech DIRNER, Vladimír SLIVKA a Milan BŘEZINA. *Odpadové hospodářství*. Vyd. 1. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2008, 143 s. ISBN 978-80-86832-34-0.
- [7] Investigation of the possibility of copper recovery from the flotation tailings by acid leaching, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 158, Issue 1, 1 October 2008, Pages 23-34, ISSN 0304-3894, 10.1016/j.jhazmat.2008.01.063.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389408000940>)
- [8] Huiting Shen and E Forssberg. An overview of recovery of metals from slags. *Waste Management*, Vol 23, num. 10, 2003, p. 933-949, ISSN 0956-053X, doi 10.1016/S0956-053X(02)00164-2,
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X02001642>
- [9] VÁCLAVÍK, V., DIRNER, V., DVORSKÝ, T., DAXNER, J. - *Use of blast furnace slag*. *Metalurgija*. 2012, vol. 51, no. 4, p. 461–464. ISSN 0543-5846.
- [10] BOTULA, Jiří. *Recyklace odpadů kovových a kovonosných*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003, 86 s. ISBN 80-248-0495-6.

- [11] JIRÁSEK, J., SIVEK, M.: *Ložiska nerostů. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1276-2.*
- [12] ĎUŘA, Rudolf a Luboš REJL. *Svět drahých kamenů. Vyd. 4. Praha: Granit, 2006, 190 s. ISBN 80-7296-052-0.*
- [13] ADAMUS, Břetislav, Petr DVOŘÁK a Miroslav PALAS. *Ložiska užitečných surovin. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, Hornicko-geologická fakulta, 1990, 106 s., bez ISBN*
- [14] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. 3. vyd. Praha: Prometheus, 1997. ISBN 80-85849-84-4.*
- [15] BÍLEK, J., HOFFMAN, V., TRDLÍČKA, Z.: *Kutnohorské odvaly. Sborník Oblastního muzea v Kutné Hoře, řada geologicko-báňská, [s.a.] č. 7.*
- [16] KOHOUTEK, J.: *Geologie kutnohorského rudního obvodu. Sborník Oblastního muzea v Kutné Hoře, řada geologicko-báňská, č. 8 - 9.*
- [17] ORASKÝ, František. *Tisíc let kutnohorského dolování a mincování. Příbram: Rudné doly, [198-]. 89 s.*
- [18] PAULIŠ, Petr. *Mineralogické lokality okolí Kutné Hory. Kutná Hora: Kuttna, 1999. ISBN 80-902719-0-1.*
- [19] VANĚK, V., VELEBIL, D.: *Staré hutnictví stříbra. In: Stříbrná Jihlava 2007: studie k dějinám hornictví a důlních prací : příspěvky z konference Stříbrná Jihlava 04.-07.10.2007 v Jihlavě : věnováno Pavlu Rousovi k 60. narozeninám = Silberne Stadt Jihlava 2007 : Studien zur Geschichte des Bergbaus und der Bergwerke : Beiträge aus der Konferrenz Silberne Stadt Jihlava 04.-07.10.2007 in Jihlava (Iglau) : Festschrift für Pavel Rous zum 60. Geburtstag. Jihlava: Muzeum Vysočiny Jihlava, 2007, s. 188-205. Archeologické výzkumy na Vysočině. ISBN 978-80903588-4-3.*
- [20] PAULIŠ, Petr a MIKUŠ, Miloslav. *Stříbrná stezka - hornická naučná stezka v Kutné Hoře: stručná historie kutnohorského dolování = Der Montanhistorische und Naturlehrpfad von Kutná Hora (Kuttenberg) = Silver pathway - instructional pathway in Kutná Hora. Kutná Hora: Kuttna, 1998. 60 s. ISBN 80-238-2963-7.*

- [21] ZBOŘIL, Jaroslav. *Získávání neželezných kovů z metalurgických odpadů po zpracování polymetalických rud*. Ostrava, 2012. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [22] TIRPÁK, Jiří. *Flotace kovonosných odpadů*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [23] KOVÁŘ, Lukáš. *Využití bakterie Acidithiobacillus ferrooxidans při flotaci kovonosných odpadů s obsahem stříbra*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
- [24] DRTIČE PRO HRUBÉ DRCENÍ. *Drtiče pro hrubé drcení* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: http://www.hornictvi.info/prirucka/up_rudy/01.htm
- [25] DRTIČE PRO HRUBÉ DRCENÍ. *Drtiče pro hrubé drcení* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: http://www.hornictvi.info/prirucka/up_rudy/01.htm
- [26] FEČKO, Peter, et al.: *Environmentální biotechnologie*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut environmentálního inženýrství, 2004, 180 s. ISBN 80-248-0700-9.
- [27] KMEŤ, Stanislav. *Flotácia*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1992, 350 s. ISBN 80-05-00971-2.
- [28] SAMKOVÁ, R.: *Získávání Li-slídy z odpadů po těžbě Sn-W rudy pomocí flotace*. GeoScience Engineering, Volume LV (2009), No.1, p. 33-37, ISSN 1802-5420, VŠB-TU Ostrava
- [29] NGUYEN, A., V., SCHULZE, H., J: *Colloidal science of flotation*. Marcel Dekker, Inc., New York, 2004, ISBN 0-8247-4782-8
- [30] WILLS, B., A. a T., J. NAPIER-MUNN. *Mineral Processing Technology*. Oxford: Elsevier, 2006. 7. ISBN 978-0-7506-4450-1.
- [31] NATIONAL INDUSTRIAL CHEMICALS NOTIFICATION & ASSESSMENT SCHEME. *Sodium ethyl xanthate: full public report*. Canberra: Australian Govt. Pub. Service, 1995. ISBN 0-644-35283-3.
- [32] NATIONAL INDUSTRIAL CHEMICALS NOTIFICATION AND ASSESSMENT SCHEME. *Sodium ethyl xanthate: priority existing chemical secondary*

notification assessment report. Canberra: Australian Govt. Pub. Service, 2000. 0-642-42198-6.

[33] OCTADECYLAMINE. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco(CA):WikimediaFoundation,2015 [cit.2016-03-31].

Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/Octadecylamin>

[34] SVĚT ENCYKLOPEDICKÉ ZNALOSTI. *Oktadecylamin* [online]. Čína: Copyright,2016 [cit.2016-03-31].

Dostupné z: http://cs.swewe.org/word_show.htm/?69468_1&Oktadecylamin

[35] INCHEM. *Octadecylamine* [online]. EU: International Programme on Chemical Safety and the European Commission, 2012 [cit. 2016-03-31].

Dostupné z: <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics1365.htm>

[36] OCTADECYLAMINE. *Material Safety Data Sheet* [online]. Santa Cruz, California: Santa Cruz Biotechnology, Inc., 2009 [cit. 2016-03-31].

Dostupné z: <http://datasheets.scbt.com/sc-250608.pdf>

[37] CHEN, Yao, Xin-Wei DOU, Meng-Meng ZHANG, Xuan LU, Yu-Jun QIN, Pu ZHANG a Zhi-Xin GUO. The fabrication of flower-like graphene/octadecylamine composites. *Chinese Chemical Letters* [online]. 2015, 26(9), 1144-1146 [cit. 2016-03-31]. DOI:10.1016/j.ccllet.2015.05.045.ISSN10018417.

[38] Sigma-Aldrich. *Octadecylamine* [online]. USA: Sigma-Aldrich Co. LLC. All RightsReserved.,2016[cit.2016-04-01].

Dostupné z: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/305391?lang=en&ion=CZ>

[39] CABEZON, L.M., M. CABALLERO a J.A. PEREZ-BUSTAMANTE. *Simultaneous separation of copper, cadmium and cobalt from sea-water by co-flotation with octadecylamine and ferric hydroxide as collectors* [online]. Spain, 1984, , 597-602 [cit. 2016-03-31]. DOI: DOI: 10.1016/0039-9140(84)80176-9. ISSN 00399140.

Dostupné z: [http://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-](http://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0000803474&origin=resultslist&sort=plf-)

[0000803474&origin=resultslist&sort=plf-](http://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0000803474&origin=resultslist&sort=plf-)

[f&src=s&st1=Simultaneous+separation+of+copper%2c+cadmium+and+cobalt+from+sea-](http://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0000803474&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Simultaneous+separation+of+copper%2c+cadmium+and+cobalt+from+sea-water+by+co-)

[water+by+co-](http://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0000803474&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Simultaneous+separation+of+copper%2c+cadmium+and+cobalt+from+sea-water+by+co-flotation+with+octadecylamine+and+ferric+hydroxide+as+collectors&st2=&sid=43E028E)

4BA74E9EB4A6B654D32342890.WXhD7YyTQ6A7Pvk9AlA%3a120&sot=b&sdt=b&sl=154&s=TITLE-ABS-

KEY%28Simultaneous+separation+of+copper%2c+cadmium+and+cobalt+from+sea-water+by+co-

flotation+with+octadecylamine+and+ferric+hydroxide+as+collectors%29&relpo

[40] YANG, Jin Lin, Hong Mei ZHANG, Wei MO, Shao Jian MA a Xiu Juan SU. Flotation Tests of Zinc Oxide Ore with Iron. *Advanced Materials Research* [online]. 2013, 826, 57-60 [cit. 2016-03-31]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.826.57. ISSN 1662-8985. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMR.826.57>

[41] LI, D., N. XUE, F.Q. CHENG, Z.P. DU a C.Y. SUN. New Technology of KCl Flotation Using Mixed Amine. *Asian Journal of Chemistry* [online]. 2015, 27(5), 1714-1718 [cit. 2016-03-31]. DOI: 10.14233/ajchem.2015.17561. ISSN 09707077. [http://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84923293251&origin=resultslist&sort=plf-](http://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84923293251&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=flotation+octadecylamine&st2=&sid=6876FEBD2F9E69AF858F7466C1AB5578.y7ESLndDIIsN8cE7qwvy6w%3a1030&sot=b&sdt=b&sl=39&s=TITLE-ABS-KEY%28flotation+octadecylamine%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=%29)

[f&src=s&st1=flotation+octadecylamine&st2=&sid=6876FEBD2F9E69AF858F7466C1AB5578.y7ESLndDIIsN8cE7qwvy6w%3a1030&sot=b&sdt=b&sl=39&s=TITLE-ABS-KEY%28flotation+octadecylamine%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=%29](http://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84923293251&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=flotation+octadecylamine&st2=&sid=6876FEBD2F9E69AF858F7466C1AB5578.y7ESLndDIIsN8cE7qwvy6w%3a1030&sot=b&sdt=b&sl=39&s=TITLE-ABS-KEY%28flotation+octadecylamine%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=%29)

[42] CHEMICAL STRUCTURES STARTING WITH THE LETTER S. *Sodium Ethyl Xanate* [online]. © 2016 About.com — All rights reserved., 2016 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://chemistry.about.com/od/factsstructures/ig/Chemical-Structures---S/SEX.htm>

[43] FLOTACE NEROSTNÝCH SUROVIN A ODPADŮ. *Flotace nerostných surovin a odpadů* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/Flotace/>

[44] PUBCHEM: CHEMISTRY DATABASE. *PubChem: Octadecylamine* [online]. USA: National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine, 2016 [cit. 2016-03-31].

[45] PUBCHEM: CHEMISTRY DATABASE. *Montanol* [online]. USA: National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine, 2016 [cit. 2016-04-5].

Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11953925#section=Top>

- [46] SYED, S. *Silver recovery aqueous techniques from diverse sources: Hydrometallurgy in recycling. Waste Management* [online]. Saudi Arabia, 2016, , 234 - 256 [cit. 2016-04-04]. DOI: doi:10.1016/j.wasman.2016.02.006.
Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1630054X>
- [47] MURAVYOV, MAXIM I., ALEKSANDER G. BULAEV a TAMARA F. KONDRATĚVA. *Complex treatment of mining and metallurgical wastes for recovery of base metals. Minerals Engineering* [online]. Russia, 2014, , 63-66 [cit. 2016-04-04]. DOI: doi:10.1016/j.mineng.2014.04.007. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687514001174>
- [48] POLAT, H. a D. ERDOGAN. *Heavy metal removal from waste waters by ion flotation. Journal of Hazardous Materials* [online]. Turkey, 2007, , 267-273 [cit. 2016-04-05]. DOI: doi:10.1016/j.jhazmat.2007.02.013.
Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407002634>
- [49] ZOUBOULIS, A.I. *Silver recovery from aqueous streams using ion flotation. Minerals Engineering* [online]. Greece, 2000, 1477-1488 [cit. 2016-04-05]. DOI: doi:10.1016/0892-6875(95)00112-3.
Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0892687595001123>
- [50] GUO, BAO, YONGJUN PENG a RODOLFO ESPINOSA-GOMEZ. *Effects of free cyanide and cuprous cyanide on the flotation of gold and silver bearing pyrite. Minerals Engineering* [online]. Australia, 2014, 194-204 [cit. 2016-04-08]. DOI: doi:10.1016/j.mineng.2014.11.016. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687514003823>
- [51] ANORGANICKÁ HMOTNOSTNÍ SPEKTROMETRIE. *Metody anorganické MS* [online]. Univerzita Palackého v Olomouci: David Milde, 2010 [cit. 2016-03-31]. Dostupné z: <http://ach.upol.cz/user-files/intranet/07-asx-ms-pdf-1321623204.pdf>
- [52] MIHALJEVIČ, MARTIN, LADISLAV STRNAD a ONDŘEJ ŠEBEK. VYUŽITÍ HMOTNOSTNÍ SPEKTROMETRIE S INDUKČNĚ VÁZANÝM PLAZMATEM V GEOCHEMII. *Chemické listy* 98 [online]. 2004, , 123-130 [cit. 2016-03-31]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_03_02.pdf

Seznam použitých zkratk

EXS	ethylxantogenan sodný
HCl	kyselina chlorovodíková
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
KAX	amylxantogenát draselný
KCl	Chlorid draselný
MIBK	methylišobutyl keton
ODA	oktadecylamin
ppt	parts per trillion
ppm	parts per million

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Stříbro [12].....	8
Obrázek 2 - Schéma zpracování primárních a druhotných surovin [2]	19
Obrázek 3 - Princip flotačního rozdužování [43]	22
Obrázek 4 - příklad schéma flotačního cyklu [43]	23
Obrázek 5 - Molekulární struktura EXS [42]	26
Obrázek 6 - Chemická struktura ODA [44].....	28
Obrázek 7 - Chemická struktura Montanol [45]	29
Obrázek 8 - Odval strusky v Kutné Hoře - Markovičky [foto autor]	34
Obrázek 9 - Detail vzorku strusky, přítomnost jiných minerálů [foto autor]	35
Obrázek 10 - Vzorek strusky na plechu [foto autor]	35
Obrázek 11 - Schéma ICP - MS [51]	36
Obrázek 12 – Pneumo-mechanický flotátor VRF-1 [foto autor].....	37
Obrázek 13 - ODA + HCl [foto autor].....	38
Obrázek 14 - Pěna po 1 minutě [foto autor]	41
Obrázek 15 - Pěna po 10 minutách [foto autor].....	41
Obrázek 16 - Pěna po 1 minutě[foto autor]	43
Obrázek 17 - Flotace po 10 minutách [foto autor].....	44
Obrázek 18 - Pěna po 1 minutě [foto autor]	46
Obrázek 19 - Flotace po 8 minutách [foto autor].....	46
Obrázek 20 - Pěna po 15 minutách [foto autor].....	47
Obrázek 21 – Pěna po 1. minutě [foto autor].....	49
Obrázek 22 - Flotace po 5 minutách [foto autor].....	49
Obrázek 23 - Flotace po 10 minutách [foto autor].....	50
Obrázek 24 - Flotace po 15 minutách [foto autor].....	50

Obrázek 25 - Pěna po 1 minutě [foto autor]	52
Obrázek 26 - Flotace po 5 minutách [foto autor].....	52
Obrázek 27 - Flotace po 15 minutách [foto autor].....	53
Obrázek 28 - Graf výnosů jednotlivých flotací	54
Obrázek 29 - Graf výtěžností jednotlivých flotací.....	54
Obrázek 30 - Graf kovnatostí jednotlivých flotací	55
Obrázek 31 - Graf obohacení jednotlivých flotací.....	55
Obrázek 32 - Graf účinností jednotlivých flotací	56
Obrázek 33 - Srovnání výnosů s kovnatostí jednotlivých flotací	56
Obrázek 34 - Srovnání předchozích prací - nejlepší dosažené výsledky výnos, výtěžnost.	58
Obrázek 35 - Srovnání předchozích prací - nejlepší dosažené výsledky kovnatostí	58
Obrázek 36 - Srovnání předchozích prací - nejlepší výsledky obohacení	59

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Základní vlastnosti stříbra (Ag) [14]	10
Tabulka 2 - Fyzikálně - chemické vlastnosti Montanol 800 [29]	29
Tabulka 3 - Použité flotační sběrače	39
Tabulka 4 - Podmínky flotace 1	40
Tabulka 5 - Výsledky flotace 1 (EXS + Montanol 800)	42
Tabulka 6 - Podmínky flotace 2	42
Tabulka 7 - Výsledky flotace 2 (ODA + HCl - 20 ml/50 g suroviny)	44
Tabulka 8 - Podmínky flotace 3	45
Tabulka 9 - Výsledky flotace 3 (ODA + HCl - 20 ml/100 g suroviny)	47
Tabulka 10 - Podmínky flotace 4	48
Tabulka 11 - Výsledky flotace 4 (ODA + HCl - 40 ml/50 g suroviny)	51
Tabulka 12 - Podmínky flotace 5	51
Tabulka 13 - Výsledky flotace 5 (ODA + HCl - 40 ml/100 g suroviny)	53